



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KARAKTERISASI LUMPUR PDAM SURABAYA
DAN *RECOVERY* ALUMINIUM DENGAN
METODE ASIDIFIKASI DAN ELEKTROLISIS**

TYTA TRY HARDINA
0321 1440 000 027

Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KARAKTERISASI LUMPUR PDAM SURABAYA
DAN *RECOVERY* ALUMINIUM DENGAN
METODE ASIDIFIKASI DAN ELEKTROLISIS**

TYTA TRY HARDINA
0321 1440 000 027

Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

**CHARACTERIZATION OF SLUDGE FROM PDAM
SURABAYA AND ALUMINUM RECOVERY USING
COMBINED ACIDIFICATION AND
ELECTROLYSIS METHODS**

TYTA TRY HARDINA
0321 1440 000 027

Supervisor
Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISASI LUMPUR PDAM SURABAYA DAN RECOVERY ALUMINIUM DENGAN METODE ASIDIFIKASI DAN ELEKTROLISIS

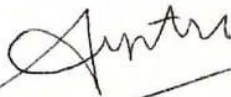
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TYTA TRY HARDINA
NRP. 03211440000027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D

NIP. 19820804 200501 1 001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KARAKTERISASI LUMPUR PDAM SURABAYA DAN RECOVERY ALUMINIUM DENGAN METODE ASIDIFIKASI DAN ELEKTROLISIS

Nama Mahasiswa : Tyta Try Hardina
NRP : 03211440000027
Departemen : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD

ABSTRAK

Pembuangan endapan lumpur ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu mengandung 47,5% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ seringkali menimbulkan masalah karena akumulasi aluminium yang terkandung di bagian hilir sungai. Dampak yang dapat ditimbulkan adalah bahaya toksisitas aluminium dapat mengakibatkan gangguan kesehatan manusia yang menggunakan air sungai, serta kelangsungan hidup biota sungai akan terganggu. Aluminium dapat diperoleh kembali dari lumpur alum PDAM dengan menggunakan metode yang lebih sederhana. Dengan demikian tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik dan komposisi kimiawi lumpur PDAM, menentukan nilai pH optimum untuk pemisahan senyawa aluminium dari lumpur, dan menentukan nilai kuat arus optimum pengoperasian elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM.

Dalam penelitian ini dilakukan proses perolehan kembali aluminium dengan proses asidifikasi yang dilanjutkan dengan elektrolisis. Tahap pendahuluan terdiri atas uji karakterisasi lumpur alum dengan parameter kadar air, alkalinitas, pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD₅), *Volatile Solids* (VS), *Total Dissolved Solids* (TDS), *Sludge Volume Index* (SVI), dan uji kandungan logam berat Al, Fe, Cu, Cr, dan Pb. Tahap selanjutnya dengan melakukan proses asidifikasi dengan penambahan asam sulfat (H_2SO_4) pada variasi pH 2, 3, dan 4 yang disertai pengadukan dan pengendapan dengan sentrifugasi. Tahap utama, metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode elektrolisis sistem *batch* satu kompartemen dengan

menggunakan elektroda perak sebagai katoda dan karbon sebagai anoda. Variasi yang digunakan pada proses elektrolisis adalah pH awal elektrolisis dari proses asidifikasi dan variasi kuat arus dari hasil uji polarisasi. Supernatan dari proses sentrifugasi dijadikan media pada proses elektrolisis untuk mendapatkan aluminium yang menempel pada katoda perak. Dari proses elektrolisis dilakukan analisis terhadap pH, kuat arus, nilai konduktivitas, dan banyaknya aluminium yang *terecover*.

Hasil dari penelitian ini diperoleh karakteristik lumpur alum PDAM Surabaya unit *drain clearator* yaitu kadar air sebesar 99,08%; alkalinitas sebesar 70,83 mg/L HCO_3 ; pH sebesar 7,47; COD sebesar 9666,67 mg O_2 /L; BOD_5 sebesar 1082,47 mg O_2 /L; VS sebesar 1733,23 mg/L; TDS sebesar 352,76 mg/L; SVI sebesar 114,18 mg/L, Al sebesar 126.100 mg/kg; Fe sebesar 55.400 mg/kg; Cu sebesar 59 mg/kg; Cr sebesar 23 mg/kg; dan Si sebesar 205.600 mg/kg. pH optimum untuk *recovery* Al adalah pada pH 3 dengan persentase 96,86% dan kuat arus optimum untuk *recovery* Al adalah 300 mA.

Kata kunci: Aluminium, asidifikasi, elektrolisis, lumpur alum, *recovery* aluminium

CHARACTERIZATION OF SLUDGE FROM PDAM SURABAYA AND ALUMINUM RECOVERY USING COMBINED ACIDIFICATION AND ELECTROLYSIS METHODS

Name : Tyta Try Hardina
Student number : 03211440000027
Department : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Mentor Lecturer : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil,
PhD

ABSTRACT

The disposal of sludge into the river without any preliminary process containing 47.5% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ often causing problems due to the accumulation of aluminum contained in the downstream of the river. The impact that can appear is the danger of aluminum toxicity can cause problem to human health for those who that use river water, and the life of river biota will be disrupted. Aluminum can be recovered from alum tin slurry using a simpler method. Thus the purpose of this study is to determine the characteristics and chemical composition of PDAM sludge, to determine the optimum pH value for the separation of aluminum compound from sludge, and to determine the optimum electrolysis optimum current value for aluminum recovery from PDAM slurry.

This research carried out the process of aluminum recovery with acidification process followed by electrolysis. The preliminary stage consisted of alum sludge characterization test with parameters of water content, alkalinity, pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD_5), Volatile Solids (VS), Total Dissolved Solids (TDS), Sludge Volume Index (SVI), and heavy metal content test of Al, Fe, Cu, Cr, and Pb. The next step is by performing the acidification process by adding sulfuric acid (H_2SO_4) to the pH 2, 3, and 4 variations with stirring and precipitation by centrifugation. The main step, the method that use in this research is batch system electrolysis with one compartment by using silver electrode as cathode and carbon as anode. Variations that used in the electrolysis process are the initial electrolysis pH of the acidification process and the strong variation of the current the polarization test results. The supernatant of the

centrifugation process used as a media in the electrolysis process to obtain aluminum that attached to the silver cathode. From the electrolysis process the analysis carried out to analyze pH, current strength, conductivity value, and the amount of aluminum that recovered.

The result of this research showed the characteristic of Aluminum Sludge of PDAM Surabaya Unit drain clearator that the water content was equal to 99,08%; alkalinity is 70.83 mg/L HCO_3 ; pH was 7.47; COD was 9666.67 mg O_2 /L; BOD5 was 1082.47 mg O_2 /L; VS was 1733,23 mg/L; TDS was 352,76 mg/L; SVI was 114.18 mg/L, Al was 126.100 mg/kg; Fe was 55.400 mg/kg; Cu was 59 mg/kg; Cr was 23 mg/kg; and Si was 205,600 mg/kg. Optimum pH for Al recovery at pH 3 with 96.86% percentage and optimum current strength for Al recovery was 300 mA.

Keywords: Aluminum, acidification, alum sludge, aluminum recovery, electrolysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Karakterisasi Lumpur PDAM Surabaya dan *Recovery* Aluminium dengan Metode Asidifikasi dan Elektrolisis”. Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas motivasi, kesabaran serta bimbingan yang telah diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST, MT, PhD., dan Bapak Welly Herumurti, ST., MSc. selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Kementrian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT), terima kasih atas bantuan dana dalam penelitian ini.
4. Ibu Ir. Toeti Wahyoe Widiastuti selaku Direktur Operasional PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.
5. Bapak Agus dan Bapak Edi PDAM Surabaya atas kerjasama selama penelitian berlangsung.
6. Keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya.
7. Bapak Hadi Sutrisno, Bapak Azhari, dan Ibu Mery selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium.
8. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap dalam membantu.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lumpur Alum	5
2.1.1 Karakteristik Lumpur Alum	5
2.1.2 Sumber Lumpur Alum	5
2.1.3 Potensi Pencemaran Lumpur Alum	6
2.2 Logam Aluminium	6
2.2.1 Karakteristik Logam Aluminium	6
2.2.2 Pemanfaatan Logam Aluminium untuk Pengolahan Air Minum	7
2.3 Pengolahan Lumpur Alum	7
2.3.1 Cara Fisik	7
2.3.2 Cara Kimia	8
2.4. Mekanisme Oksidasi Elektrokimia	9

2.5 Elektrolisis.....	11
2.5.1 Mekanisme Elektrolisis	11
2.5.2 Perhitungan Efisiensi Proses.....	12
2.5.3 Elektroda pada Elektrolisis	13
2.5.4 Faktor yang Memengaruhi Elektrolisis	14
2.6 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Deskripsi Umum	19
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.3 Kerangka Penelitian.....	19
3.4 Ide Penelitian	20
3.5 Studi Literatur	23
3.6 Penentuan Variabel Penelitian	23
3.7 Persiapan Alat dan Bahan.....	25
3.8 Penelitian Pendahuluan.....	28
3.9 Penelitian Utama	30
3.10 Analisis Data dan Pembahasan	31
3.10 Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Penelitian Pendahuluan.....	35
4.1.1 Karakterisasi Awal Lumpur Alum.....	35
4.1.2 Asidifikasi	36
4.1.2 Uji Polarisasi	38
4.2 Penelitian Utama	41
4.2.1 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 100 mA, 200 mA dan 300 mA	41
4.2.2 Nilai COD dan Endapan Aluminium pada Katoda dengan Kuat Arus 100 mA, 200 mA, dan 300 mA	44

4.2.3 <i>Mass Balance</i> Aluminium	48
4.2.4 Pengukuran Konsentrasi Aluminium pada pH dan Kuat Arus Optimum	53
4.2.5 Persentase Komposisi Logam	55
4.3 Konsumsi Energi Spesifik	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM	71
LAMPIRAN B DATA HASIL PERHITUNGAN	77
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN	107
BIOGRAFI PENULIS	109

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva Hubungan pH dengan Aluminium pada Proses Asidifikasi.....	9
Gambar 2. 2 Proses Oksidasi Elektrokimia.....	10
Gambar 2. 3 Mekanisme Oksidasi	11
Gambar 2. 4 Kurva Hubungan Kelarutan dan pH	17
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	22
Gambar 3. 2 Kurva Polarisasi larutan perak dengan berbagai Rasio komposisi $\text{AgNO}_3\text{:KCN}$	24
Gambar 3. 3 Skema Reaktor Elektrolisis	26
Gambar 3. 4 Konfigurasi Reaktor Elektrolisis.....	26
Gambar 3. 5 Reaktor Elektrolisis.....	27
Gambar 3. 6 Skema Mass Balance Aluminium.....	33
Gambar 4. 1 Proses Asidifikasi Lumpur Alum Kering	36
Gambar 4. 2 Analisis ICP pada Asidifikasi pH 2, 3, 4, dan 5	37
Gambar 4. 3 Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap pH dan TDS 0-500 mA	39
Gambar 4. 4 Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap pH dan TDS 500-1000 mA	39
Gambar 4. 5 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 100 mA	42
Gambar 4. 6 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 200 mA	43
Gambar 4. 7 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 300 mA.....	43
Gambar 4. 8 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 100 mA.....	45
Gambar 4. 9 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 200 mA.....	46
Gambar 4. 10 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 300 mA.....	46
Gambar 4. 11 Skema Mass Balance Aluminium.....	48
Gambar 4. 12 Konsentrasi Aluminium Setiap Jam	54
Gambar 4. 13 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 100 mA.....	55
Gambar 4. 14 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 200 mA.....	56
Gambar 4. 15 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 300 mA.....	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Lumpur Alum	5
Tabel 2. 2 Kadar Aluminium pada Lumpur Alum PDAM Tirtawening Kota Bandung	5
Tabel 2. 3 Karakteristik Fisik Lumpur	8
Tabel 2. 4 Standar Potensial Reduksi	16
Tabel 3. 1 Potensial Reduksi Standar	24
Tabel 3. 2 Uji Karakterisasi Lumpur Alum	29
Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakterisasi Awal Lumpur Alum PDAM Unit Drain Clearator.....	35
Tabel 4. 2 Berat Elektroda pada Percobaan Elektrolisis	47
Tabel 4. 3 Konsumsi Energi Spesifik.....	58

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih sebagai kebutuhan dasar perkotaan diproduksi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), dengan hasil samping produksi adalah berupa lumpur alum (*sludge*). Peningkatan laju pertumbuhan penduduk di perkotaan, termasuk di Kota Surabaya mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air, oleh karena itu hasil samping berupa lumpur yang mengandung aluminium juga diperkirakan meningkat (Selintung dan Azikin, 2012). Lumpur alum merupakan salah satu jenis limbah dari Instalasi Pengolahan Air yang menggunakan koagulan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) untuk menurunkan kekeruhan air baku. Menurut Hanim *et al.* (2007), kadar aluminium di Sungai Code, Yogyakarta paling tinggi sebesar 128,43 mg/L. Rujukan lain menyatakan bahwa kadar aluminium total pada unit *accelerator* adalah sebesar 4.794 mg/L (Dassanayake, 2015). Jumlah lumpur yang dibuang ke Kali Surabaya oleh IPAM I di Kota Surabaya adalah sebesar 626 m³ (Primadipta dan Titah, 2017). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air bahwa kadar maksimum logam aluminium untuk air golongan A adalah 0,2 mg/L. Proses pengolahan lumpur alum harus melewati tahapan *sludge thickening*, *sludge stabilization*, *sludge dewatering* dan *sludge drying* untuk menurunkan kandungan logam (Muhammad, 2010). Lumpur alum yang dibuang ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu menyebabkan pencemaran, karena mengandung beberapa zat kimia, seperti Pb, Cr, Cu, Al dan Cd (Georgantassou dan Grigoropoulou, 2005). Konsentrasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang berasal dari lumpur alum tanpa melewati pengolahan lumpur adalah sebesar 47,5% (Budi dan Suherman, 2005).

Pembuangan endapan lumpur ke sungai seringkali menimbulkan masalah karena mengakibatkan akumulasi di bagian hilir sungai. Lewat proses rantai makanan, aluminium dapat berpindah lewat hewan air sampai ke manusia kembali. Apabila aluminium tersebut berakumulasi di tubuh manusia akan menimbulkan gangguan kesehatan (Setyono, 2008). Toksisitas

aluminium pada manusia dapat mengakibatkan efek kesehatan yang serius, seperti kerusakan sistem saraf pusat, demensia, kehilangan memori, kelesuan, dan gemetar parah (Az-Zahra *et al.*, 2014). Dampak lain yang ditimbulkan adalah membahayakan kesehatan manusia yang menggunakan air sungai, serta kelangsungan hidup biota sungai akan terganggu akibat akumulasi lumpur alum yang berada di badan sungai (Fitri, 2010). Aluminium merupakan logam yang paling banyak ditemukan di kerak bumi (8,3%). Aluminium sangat reaktif khususnya dengan oksigen, sehingga unsur aluminium tidak pernah dijumpai dalam keadaan bebas di alam, melainkan sebagai senyawa penyusun utama dari bahan tambang bijih bauksit yang berupa campuran oksida dan hidroksida aluminium.

Proses fisik-kimia merupakan proses yang dapat diterapkan untuk pengolahan pendahuluan maupun keseluruhan pengolahan. Proses fisik-kimia dalam *recovery* aluminium dapat meliputi flokulasi dan presipitasi (Amokrane *et al.*, 1997) serta oksidasi kimia (Lopez *et al.*, 2004) seperti elektrolisis dan oksidasi kimia. Dalam penelitian ini akan dilakukan proses perolehan kembali aluminium dengan menggunakan kombinasi proses asidifikasi dan elektrolisis. Proses asidifikasi dilakukan dengan menambahkan asam kuat yang disertai pengadukan dan pengendapan. Menurut Pansward dan Chamnan (2000), *recovery* aluminium dengan ekstraksi asam (pH antara 1,0 dan 3,0) bisa mencapai 70 - 90%. Menurut Kurniawan (2009), proses asidifikasi dengan asam kuat bertujuan untuk mengikat kandungan aluminium yang terdapat dalam lumpur sehingga akan dihasilkan cairan atau fitrat yang kaya akan aluminium. Melalui proses asidifikasi menggunakan asam kuat diharapkan aluminium dapat diperoleh kembali dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$. Proses selanjutnya adalah elektrolisis yang memiliki keunggulan karena tidak membutuhkan bahan kimia dan tidak menghasilkan limbah (Huang *et al.*, 2007). Pada penelitian ini dipilih metoda elektrolisis untuk dapat memperoleh kembali aluminium dalam bentuk murni. Proses elektrolisis dapat terjadi dengan reaksi asam. Terjadinya reaksi asam tergantung oleh kondisi lingkungan/jenis elektrolit yang digunakan (Helmenstine, 2001). Menurut Syafana (2004), efisiensi elektrolisis dapat mencapai 99,38% pada kuat arus 2 mA dengan voltase 1,3 V.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi berupa karakteristik lumpur PDAM, nilai pH optimum untuk pemisahan senyawa aluminium dari lumpur dengan proses elektrolisis, dan nilai kuat arus optimum pengoperasian elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM. Hasil tersebut akan dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan teknologi *recovery* aluminium dari limbah lumpur PDAM.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi dasar untuk dilakukan penelitian *recovery* aluminium dari lumpur pengolahan air minum dengan metode elektrolisis sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik serta komposisi kimiawi, termasuk aluminium pada lumpur PDAM?
2. Berapakah nilai pH optimum untuk pemisahan senyawa aluminium dari lumpur dengan proses elektrolisis dengan menggunakan elektroda perak dan karbon?
3. Bagaimanakah nilai kuat arus optimum pengoperasian elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian *recovery* aluminium dari lumpur pengolahan air minum dengan metode elektrolisis sebagai berikut:

1. Menentukan karakteristik dan komposisi kimiawi lumpur PDAM.
2. Menentukan nilai pH optimum untuk pemisahan senyawa aluminium dari lumpur.
3. Menentukan nilai kuat arus optimum pengoperasian elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian *recovery* aluminium dari lumpur pengolahan air minum dengan metode elektrolisis sebagai berikut:

1. Sampel lumpur yang digunakan pada penelitian ini adalah lumpur alum yang berasal dari PDAM Surabaya Unit *drain clearator*.
2. Sampling akan dilaksanakan pada bulan Februari 2018.

3. Pembuatan alat atau model penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air dan Laboratorium Limbah Padat dan B3, Departemen Teknik Lingkungan FTSLK-ITS.
4. Percobaan dilakukan dengan proses *batch* satu kompartemen.
5. Logam yang dianalisis pada penelitian ini adalah aluminium, sedangkan logam berat pengotor yang dianalisis pada penelitian ini adalah Pb, Cr, Cu, dan Fe. Logam-logam tersebut dianalisis di awal dan akhir proses elektrolisis.

1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberi manfaat berupa:

1. Memberikan informasi ilmiah tentang *recovery* aluminium dari lumpur PDAM dengan metode elektrolisis.
2. Memberikan referensi dalam penelitian *recovery* aluminium dari lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum dengan metode elektrolisis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Alum

2.1.1 Karakteristik Lumpur Alum

Lumpur alum adalah residu yang dihasilkan dari proses pengolahan air baku yang bersumber dari air permukaan (sungai) menjadi air minum. Lumpur alum umumnya mengandung berbagai macam mineral dan materi organik yang mengendap dari air baku dan residu senyawa koagulan yang digunakan (Babatunde dan Zhao, 2007). Karakteristik logam aluminium dan kadar aluminium pada Instalasi Pengolahan Air di PDAM Tirtawening Kota Bandung dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Karakteristik Lumpur Alum

Parameter	Range
pH	5,12 – 8
Aluminium (g/kg)	27 – 153
Zat Organik (g/kg)	63 – 144

Sumber : Dassanayake *et al.* (2015)

Tabel 2. 2 Kadar Aluminium pada Lumpur Alum PDAM Tirtawening Kota Bandung

Alumunium Total (mg/ L)		
Lumpur <i>Accelator</i>	Lumpur Sedimentasi	Lumpur <i>Manhole</i> (gabungan)
4.794	8.300	2.738

Sumber : Az-Zahra *et al.* (2014)

2.1.2 Sumber Lumpur Alum

Lumpur alum adalah limbah dihasilkan dari proses pengolahan air minum pada unit *clearator*, sedimentasi maupun *accelerator*. Kandungan aluminium pada lumpur alum merupakan akibat dari penambahan koagulan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (Santriyana *et al.*, 2013).

Kandungan lumpur alum sangat tergantung pada sumber air baku, jumlah aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) yang dipakai dan bahan kimia yang digunakan (Babatunde dan Zhao, 2007). Kandungan aluminium pada lumpur alum setelah unit koagulasi pada proses pengolahan air minum adalah sebesar 39% berat lumpur alum (Boaventura *et al.*, 2000).

2.1.3 Potensi Pencemaran Lumpur Alum

Lumpur instalasi mengandung padatan organik dan anorganik yang menyebabkan kekeruhan, alga, bakteri, virus, pasir, tanah liat dan endapan bahan kimia yang terbentuk selama proses pengolahan (Qasim *et al.*, 2000). Lumpur pengolahan air juga mungkin mengandung *pathogen*, kontaminan organohalogen, dan logam yang terkonsentrasi seperti aluminium dan besi (Soetaro-santos *et al.*, 2005). Lumpur alum yang langsung dibuang ke badan air dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan khususnya bagi biota perairan. Penggunaan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sebagai bahan koagulan yang digunakan dalam unit koagulasi memicu terjadinya akumulasi aluminium di perairan yang berdampak bagi lingkungan dan kesehatan (Santriyana *et al.*, 2013). Jika kadar aluminium pada lumpur alum cukup tinggi, lumpur alum tersebut tidak boleh langsung dibuang ke sungai karena dapat memberikan efek negatif pada lingkungan.

Peraturan yang mengatur terkait kadar maksimum aluminium sangat diperlukan karena sifat aluminium yang resisten umumnya tidak larut dalam keadaan pH netral (antara pH 6,0-8,0) (Az-Zahra *et al.*, 2014). Efek jangka panjang dan konsentrasi tinggi aluminium dapat mengakibatkan efek kesehatan yang serius, seperti kerusakan pada sistem saraf pusat, kehilangan memori, dan gemetar (Az-Zahra *et al.*, 2014).

2.2 Logam Aluminium

2.2.1 Karakteristik Logam Aluminium

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan di dunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengan densitas 2,7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8,83 g/cm³), tembaga (8,93 g/cm³), atau kuningan (8,53 g/cm³), mempunyai sifat unik, yaitu: ringan, kuat,

dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), dan beberapa sistem kimia (Rahmawati, 2010).

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik (Munawarti *et al.*, 2015). Aluminium mudah dibentuk serta cadangannya dikerak bumi melimpah melebihi cadangan besi (Fe). Aluminium murni mempunyai kekuatan dan sifat mekanis yang rendah. Kekuatan Aluminium murni tidak dapat ditingkatkan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment, age hardening*) (Setiawan, 2014). Aluminium yang berupa alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan limbah lumpur.

2.2.2 Pemanfaatan Logam Aluminium untuk Pengolahan Air Minum

Aluminium adalah salah satu logam anorganik yang terdapat dalam air minum. Koagulan berbasis aluminium seperti aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) atau poli-aluminium klorida yang umum digunakan dalam pengolahan air minum untuk meningkatkan *removal* partikel, koloid, dan zat-zat terlarut lainnya melalui proses koagulasi (Singh *et al.*, 2004).

Pada proses pengolahan air bersih, tahap penjernihan air masih sangat menguntungkan jika menggunakan alum atau tawas. Aluminium sulfat ditemukan pada bentuk anhidrat. Aluminium sulfat biasanya banyak dijumpai di pasaran berupa bentuk teknis dan komersial (batas kadar besinya 0,05 untuk teknis dan 0,5 untuk komersial) (Nurcahyo *et al.*, 2014).

2.3 Pengolahan Lumpur Alum

2.3.1 Cara Fisik

Menurut Metcalf & Eddy (2004), lumpur yang dihasilkan dari proses unit *accelerator* akan ditangani melalui variasi proses, yaitu:

1. *Thickening*, proses pemekatan lumpur untuk mengurangi volume lumpur sebelum diolah di unit berikutnya.
2. *Conditioning*, penambahan zat kimia untuk memperbaiki kemampuan lumpur memadat.
3. *Dewatering*, proses pemekatan lumpur lebih lanjut menjadi bentuk *cake*.

4. *Drying*, penghilangan air lebih lanjut melalui pemanasan.
5. *Disposal* dan *reuse*, lumpur pekat dibuang ke lokasi pembuangan permanen.

Pada proses *dewatering*, lumpur harus menghasilkan konsentrasi solid minimal 20% agar lumpur mudah ditangani dengan menggunakan *conveyor* atau peralatan mekanik lainnya. Tabel 2.3 menunjukkan karakterisasi lumpur yang diolah dengan proses fisik.

Tabel 2. 3 Karakteristik Fisik Lumpur

Karakteristik	Lumpur Alum
Kuantitas, kg/1000m ³ Densitas kering, kg/m ³ <i>Dewaterability</i>	8 – 210, tipikal 48 1200 – 1520 10% konsentrasi dalam 2 hari

Sumber: Qasim *et al.* (2000)

2.3.2 Cara Kimia

2.3.2.1 Metode Asidifikasi

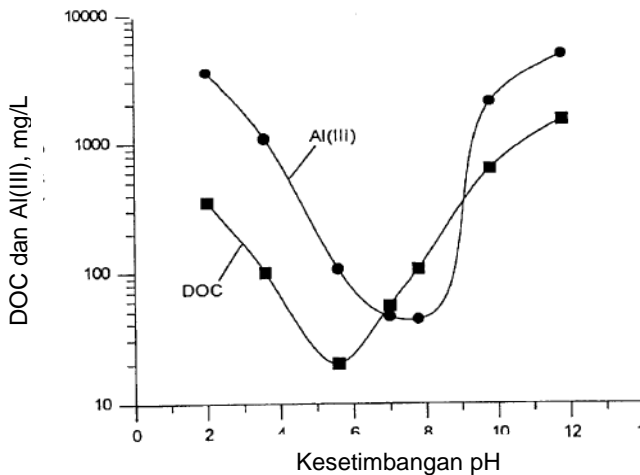
Metode asidifikasi yaitu salah satu teknik perolehan kembali aluminium di dalam lumpur dengan menggunakan asam kuat yang disertai dengan pengadukan dan pengendapan (Moerdiyanti *et al.*, 2014). Menurut Kurniawan (2009), proses asidifikasi dengan asam kuat bertujuan untuk mengikat kandungan aluminium yang terdapat dalam lumpur sehingga akan dihasilkan cairan atau filtrat yang kaya akan aluminium. Melalui proses asidifikasi menggunakan asam kuat diharapkan aluminium dapat diperoleh kembali dari Al(OH)₃. Berikut adalah reaksi kimia dari proses asidifikasi di dalam lumpur (Goldman dan Watson, 1975).



Dari persamaan diatas, efektifitas perolehan kembali aluminium yaitu sebesar 58,56%. Menurut Boaventura *et al.* (2000) bahwa dalam kondisi asam dihasilkan aluminium sebesar 56,3% hingga 58,9%. Menurut Panswad dan Chamnan (2000) *recovery* aluminium dengan asidifikasi (pH antara 1,0 dan 3,0) bisa

mencapai 70-90%. Boaventura *et al.* (2000) menyatakan bahwa nilai *recovery* aluminium dengan menggunakan H_2SO_4 sekitar 61% pada pH 1,0.

Menurut Sengupta *et al.* (2002), proses *recovery* aluminium dibatasi pada kekurangan yang telah mengesampingkan kemungkinan penggunaan kembali tawas cair yang telah diperoleh sebagai koagulan. Prosesnya tidak selektif seiring dengan tawas juga diperoleh semua zat lain yang larut dalam kondisi asam tinggi atau yang ada seperti koloid. Berikut ini grafik *recovery* aluminium dengan proses asidifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



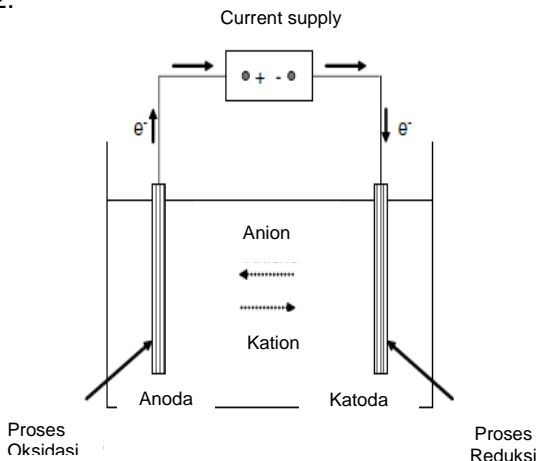
Gambar 2. 1 Kurva Hubungan pH dengan Aluminium pada Proses Asidifikasi

Sumber : Sengupta *et al.* (2002)

2.4. Mekanisme Oksidasi Elektrokimia

Dalam oksidasi elektrokimia, proses reduksi terjadi di katoda di mana elektron ditolak, dan sebagian logam berat dihilangkan. Di anoda terjadi proses oksidasi di mana merupakan tempat yang dituju elektron dan tempat dihilangkannya sejumlah polutan seperti senyawa organik. Reaksi oksidasi dapat terjadi di *bulk solution*

dengan oksidan yang dihasilkan dari elektroda yang selanjutnya disebut oksidasi tidak langsung (Deng dan Englehardt, 2007). Gambar dari proses oksidasi elektrokimia dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Proses Oksidasi Elektrokimia

Sumber: Anglada *et al.* (2009)

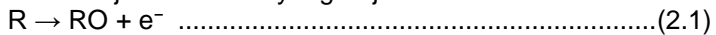
Oksidasi elektrokimia dapat terjadi melalui dua mekanisme yang berbeda yaitu oksidasi anodik secara langsung di mana polutan dihancurkan di permukaan anoda dan oksidasi secara tidak langsung di mana mediator seperti klorin, HClO , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ diproduksi secara elektrokimia untuk mengoksidasi polutan.

1. Oksidasi Langsung

Oksidasi langsung meliputi dua langkah yaitu difusi polutan dari elektrolit menuju permukaan anoda dan oksidasi polutan di permukaan anoda. Efisiensi proses elektrokimia bergantung pada hubungan transfer massa dari substrat dan transfer elektron di permukaan elektroda. Kecepatan perpindahan elektron bergantung pada aktivitas elektroda dan kuat arus listrik (Anglada *et al.*, 2011). Pada oksidasi langsung dapat terjadi dua mekanisme berikut:

- Konversi secara elektrokimia

Polutan organik hanya dioksidasi sebagian sehingga memerlukan pengolahan lanjutan. Reaksi yang terjadi adalah:



- Degradasi secara elektrokimia

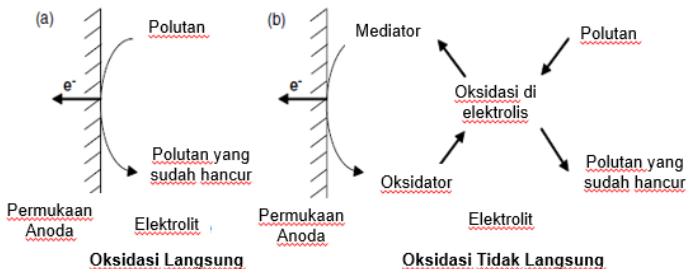
Polutan organik diubah menjadi air, karbon dioksida dan bentuk inorganik lainnya. Reaksi yang terjadi adalah:



Pada oksidasi langsung peran anoda sangat memengaruhi proses. Anoda aktif melibatkan proses lainnya seperti adsorpsi (elektrosorpsi) sedangkan anoda yang tidak aktif tidak mendukung terjadinya elektrosorpsi (Huitle dan Ferro, 2006).

2. Oksidasi Tidak Langsung

Dalam oksidasi tidak langsung, oksidator kuat dihasilkan secara elektrokimia di permukaan anoda dan menghancurkan polutan pada elektrolit. Proses oksidasi langsung dan oksidasi tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Mekanisme Oksidasi

a) Oksidasi Langsung b) Oksidasi Tidak Langsung

Sumber: Anglada *et al.* (2009)

2.5 Elektrolisis

2.5.1 Mekanisme Elektrolisis

Elektrolisis merupakan suatu peristiwa dimana suatu larutan akan diuraikan menjadi ion-ionnya, yaitu ion positif (kation) dan ion negatif (anion), ketika arus listrik searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda. Pada peristiwa ini kation akan mengalami reduksi karena menangkap elektron, sedangkan anion

akan mengalami oksidasi karena melepaskan elektron. Maka peristiwa reduksi terjadi di katoda dan oksidasi terjadi di anoda, dan kation akan menuju katoda sedangkan anion akan menuju anoda (Skoog, 1993). Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik (Helmenstine, 2001). Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air (H₂O) menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂). Elektrolisis pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (katoda dan anoda). Agar proses elektrolisis dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis.

Jika elektrolit yang digunakan berupa larutan asam seperti HCl dan H₂SO₄ maka reaksi yang terjadi adalah reaksi asam. Pada reaksi ini reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron (e⁻) dari katoda diikat oleh kation H⁺ untuk membentuk gas Hidrogen (H_{2(g)}). Sedangkan pada elektroda positif (anoda), molekul H₂O kehilangan elektron (e⁻) sehingga terpecah menjadi gas Oksigen (O_{2(g)}) dan kation H⁺.

- Reaksi oksidasi di anoda (+) : $2 \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{O}_2 \text{ (g)} + 4 \text{H}^+ \text{ (aq)} + 4 \text{e}^-$
- Reaksi reduksi di katoda (-) : $2 \text{H}^+ \text{ (aq)} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \text{ (g)}$
- Reaksi keseluruhan : $2 \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2 \text{H}_2 \text{ (g)} + \text{O}_2 \text{ (g)}$

2.5.2 Perhitungan Efisiensi Proses

a. Hukum Faraday I

Menurut Hukum Faraday, jumlah arus listrik yang mengalir dari muatan (+) ke muatan (-) berbanding lurus dengan massa yang terbentuk atau tereduksi (Basuki dan Sudibyo, 2009). Secara teoritis, dapat dihitung jumlah logam yang terlepas ke larutan dengan rumus berikut :

$$m = \frac{I \cdot t \cdot MW}{Z \cdot F} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- m = berat logam yang larut (gram)
- I = kuat arus yang digunakan (Ampere)
- t = waktu detensi (detik)
- MW = berat molekul (gram/mol)
- Z = valensi logam

F = konstanta Faraday, 96500 C/mol

b. Hukum Coulomb

Besarnya listrik yang mengalir dinyatakan dengan Coulomb (Topayung, 2011). Besarnya listrik yang mengalir yang dinyatakan dalam Coulomb merupakan arus listrik dikalikan dengan waktu operasi. Hubungan muatan listrik dengan kuat arus dinyatakan dalam rumus berikut :

$$Q = I \cdot t \dots\dots\dots(2.4)$$

i = kuat arus (Ampere)
t = waktu (s)
Q = muatan listrik (Coloumb)

c. Kerapatan Arus

Kerapatan arus (J) adalah kuat arus listrik yang mengalir di area elektroda.

$$J = \frac{I}{A} \dots\dots\dots(2.5)$$

Oleh karena itu, muatan listrik spesifik dapat dicari melalui persamaan:

$$Q = \frac{I \cdot t}{v} \dots\dots\dots(2.6)$$

Konsumsi energi spesifik (W) secara langsung berkaitan dengan muatan listrik spesifik (Q) dan tegangan listrik tertentu (V). Berikut ini merupakan persamaan konsumsi energi selama elektrolisis:

$$W = Q \cdot V \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- W = konsumsi energi spesifik (kWh/m³)
- Q = muatan listrik spesifik (kAh/m³)
- I = kuat arus listrik (A)
- J = kerapatan arus (A/m²)
- V = tegangan listrik (V)
- A = luas elektroda (m²)
- t = waktu operasi (s)
- V = volume elektrolit (L)

(Anglada *et al.*, 2009).

2.5.3 Elektroda pada Elektrolisis

a. Perak sebagai elektroda

Perak (Ag) merupakan logam yang bernilai ekonomis yang telah lama digunakan dalam fotografi karena sifat fotosensitifnya (kepekaannya terhadap sinar ultraviolet) (El-Sattar *et al.*, 2004). Selain itu, perak tergolong logam mulia sehingga berharga mahal dengan pemanfaatannya yang cukup luas, sebagai bahan baku perhiasan dan sebagai nanomaterial anti bakteri (Theivasanthi dan Alagar, 2012).

b. Karbon sebagai elektroda

Karbon termasuk dalam golongan inert, sehingga secara teoritis tidak akan terlibat secara langsung dalam reaksi pembentukan flok yang terjadi dalam reaksi elektrolisis. Hal ini menurunkan kemungkinan terjadinya reaksi samping yang dapat mengganggu proses elektrolisis. Elektroda karbon memiliki keunggulan dibandingkan elektroda logam lainnya karena biaya yang relatif rendah dan stabilitas kimia yang tinggi (Yi *et al.*, 2015). Salah satu jenis elektroda karbon adalah elektroda karbon kaca. Karbon kaca (GC) adalah jenis karbon non-grafit yang dibentuk oleh pirolisa prekursor polimer tertentu. Struktur mikro karbon kaca terdiri dari fragmen diskrit dari bidang karbon melengkung, seperti nanopartikel terkait fullerene yang tidak sempurna. Karbon kaca yang disintesis pada suhu tinggi di atas 2000°C menunjukkan jaringan molekul pita seperti grafit bertumpuk (Harris, 2015).

Karbon kaca banyak digunakan dalam elektrokimia karena sifatnya tahan terhadap suhu tinggi, kekerasan, kepadatan rendah dan daya tahan rendah. Kinerja elektrokimia karbon kaca yang diteliti dalam media basa, netral dan asam menjelaskan bahwa proses kimia yang sama terjadi selama reaksi reduksi oksigen (ORR) namun menunjukkan mekanisme degradasi yang berbeda (Yi *et al.*, 2015).

2.5.4 Faktor yang Memengaruhi Elektrolisis

Menurut Putero (2008), beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis antara lain:

- a. Kerapatan arus listrik
Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk flok. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.
- b. Ketebalan elektroda

Semakin tebal elektroda yang digunakan, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

c. Jarak antar elektroda

Semakin besar jaraknya semakin besar hambatannya, sehingga semakin kecil arus yang mengalir. Menurut Ali dan Yaakob (2012), jarak antar elektroda memiliki hubungan langsung dengan konsumsi arus listrik. Menurut Jumiati *et al.* (2013), jarak antar elektroda mempengaruhi proses transfer elektron, semakin dekat jarak antar elektroda maka besar hambatan pergerakan elektron bernilai kecil begitu pula sebaliknya.

d. Jenis elektroda.

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrolisis. Elektroda terdiri atas dua jenis yaitu elektroda *inert* dan elektroda tidak *inert*. Elektroda *inert* merupakan elektroda yang tidak ikut bereaksi, baik sebagai anoda maupun katoda. Elektroda tidak *inert* (aktif) adalah elektroda yang ikut bereaksi (Riyanto, 2013). Elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis adalah perak (Ag) untuk katoda dan karbon (C) untuk anoda. Faktor-faktor yang dipertimbangkan ketika memilih bahan elektroda adalah stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Artadi, 2007). Di dalam elektrolisis, biasanya dibutuhkan 1 pasang elektroda. Elektroda yang digunakan terbuat dari bahan yang bersifat konduktor dan inert. Dibutuhkan konduktor dan inert dikarenakan elektroda harus dapat menghantarkan arus listrik namun tidak ikut bereaksi.

Pemilihan elektroda juga bisa berdasarkan pada deret volta berdasarkan kemampuan reduksi dan oksidasinya. Berikut adalah deret volta :

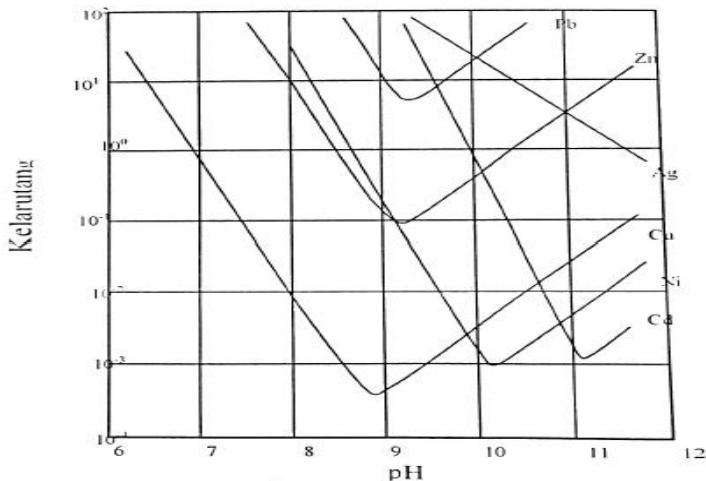
**Li - K - Ba - Sr - Ca - Na - Mg - Al - Mn - Zn - Cr - Fe - Cd - Co -
Ni - Sn - Pb - H⁺ - Cu - Hg - Ag - Pt - Au**

Pada deret volta, semakin ke kiri suatu unsur maka sifat reduktornya semakin kuat. Artinya, suatu unsur akan mampu mengoksidasi ion-ion unsur di sebelah kanannya, tetapi tidak mampu mereduksi ion-ion unsur di sebelah kirinya. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam maka logam tersebut semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) (Khandegar dan Saroha, 2013).

Penentuan deret volta berdasarkan nilai E^{red} . Penentuan nilai E^{red} didapat dari pengukuran perbedaan potensial antara 2 elektroda. Pada deret volta, logam-logam yang terletak di sebelah kiri H^+ sulit mengalami reduksi dan cenderung mengalami oksidasi. Hal tersebut diakibatkan nilai E^{red} negatif yang semakin ke kiri ($E^{\text{red}} < 0$). Ketika nilai $E^{\text{red}} < 0$, maka reduksi setengah reaksi akan lebih sulit terjadi. Ketika nilai $E^{\text{red}} > 0$, maka reduksi setengah reaksi akan lebih mudah terjadi dibandingkan dengan reduksi H^+ . Nilai standar potensial reduksi dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Petrucci *et al.*, 1987).

Tabel 2. 4 Standar Potensial Reduksi

Reaksi Setengah Reduksi	Potensial Reduksi Standar (V)
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-(\text{aq})$	+2,870
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,770
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	+0,682
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-(\text{aq})$	+1,065
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	+0,799
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0,771
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	+0,337
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	0,000
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-0,126
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{s})$	-0,403
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-0,440
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{s})$	-0,744
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-1,662
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{s})$	-1,180
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-2,714
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}(\text{s})$	-3,045



Gambar 2. 4 Kurva Hubungan Kelarutan dan pH

Sumber: Trihadiningrum (2016)

2.6 Penelitian Terdahulu

- Cundari *et al.* (2016) mengemukakan persentase *recovery* aluminium pada proses asidifikasi aluminium *sludge* keluaran *water treatment* PT Pupuk Sriwidjaja Palembang berkisar antara 22-29%. Setelah proses asidifikasi, dengan variabel dan lamanya waktu dan kecepatan pengadukan, hasil *recovery* aluminium optimum yang diperoleh sebesar 29,12%, pada waktu kontak 30 menit dan kecepatan pengadukan 600 rpm.
- Purnamasari *et al.* (2013) mengemukakan bahwa tembaga dapat diperoleh kembali melalui proses elektrolisis. Pada elektrolisis variasi konsentrasi larutan garam NaCl, hasil penelitian menunjukkan bahwa perolehan kembali tembaga tertinggi ketika elektrolisis dengan menggunakan konsentrasi larutan garam NaCl 5 M yaitu sebesar 19,24 %.

- Cahyono dan Ariani (2014) mengemukakan metode elektrolisis dapat digunakan untuk mereduksi tembaga dalam limbah cair industri PCB. Hasil penelitian menunjukkan pelat besi yang digunakan sebagai elektroda mampu menyisihkan 66,21% tembaga pada jarak 2 cm dengan durasi proses 80 menit. Pelat stainless steel pada kondisi yang sama memberikan penyisihan tembaga sekitar 62 %. Jarak terbaik antar elektroda sekitar 2 cm. Tembaga yang terdeposisi pada katoda dari hasil pengujian laboratorium memiliki kemurnian di atas 81,7%. Setelah proses netralisasi dengan NaOH hingga pH 7,5–8 mampu menyisihkan logam besi 99,99%. Tembaga juga 99,99% dan Zink mencapai 97,58%.
- Setianingrum *et al.* (2016) mengemukakan hasil dari percobaan elektrokoagulasi dengan sistem batch dapat menurunkan kadar COD 99,18% pada menit ke 60, tegangan 10 volt dengan jarak antar elektroda 3 cm.
- Menurut Supratno (2011), percobaan dirancang untuk mengamati hasil penggunaan 3 ukuran elektrode karbon, yaitu 18 cm x 3 cm x 3 cm, 16 cm x 3 cm x 3 cm, dan 14 cm x 3 cm x 3 cm. Endapan yang diperoleh diolah seperti elektrolis pertama. Hasil elektrolisis terbanyak fase ini sejumlah 68,2222 g, yang diperoleh dari ukuran elektroda karbon terkecil. Hal ini disebabkan karena dengan elektroda tersebut terjadi akumulasi endapan di katode paling banyak.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik lumpur alum, kadar aluminium dalam lumpur, berapa banyak aluminium yang terlarut, dan potensi *recovery* aluminium. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan nilai pH dan kuat arus optimum dalam pengoperasian elektrolisis. Penelitian utama didahului dengan penelitian pendahuluan yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal lumpur alum. Variasi dilakukan pada variasi pH dan variasi kuat arus listrik pada proses elektrolisis.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel adalah di PDAM Surabaya Unit *drain clearator*. Penelitian dan operasi reaktor dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air dan Laboratorium Limbah Padat dan B3 Departemen Teknik Lingkungan ITS. Penelitian dilakukan selama tiga bulan dari bulan Februari sampai bulan Mei 2018.

3.3 Kerangka Penelitian

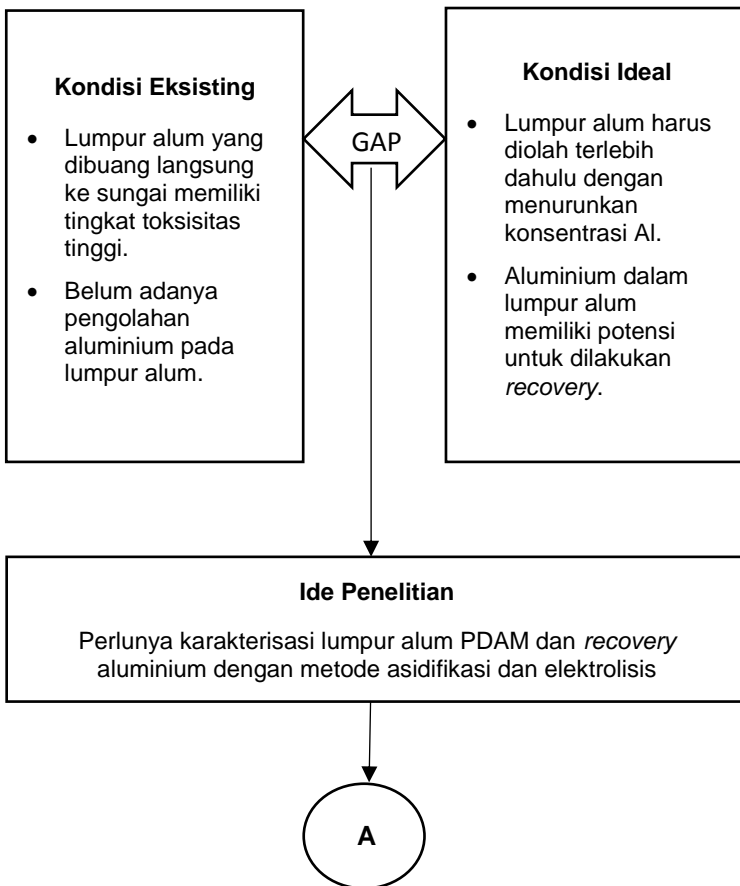
Acuan dalam melaksanakan penelitian adalah metode penelitian, yang disusun berdasarkan pemikiran akan adanya suatu permasalahan terhadap ide penelitian. Penyusunan kerangka penelitian dilakukan dengan tujuan:

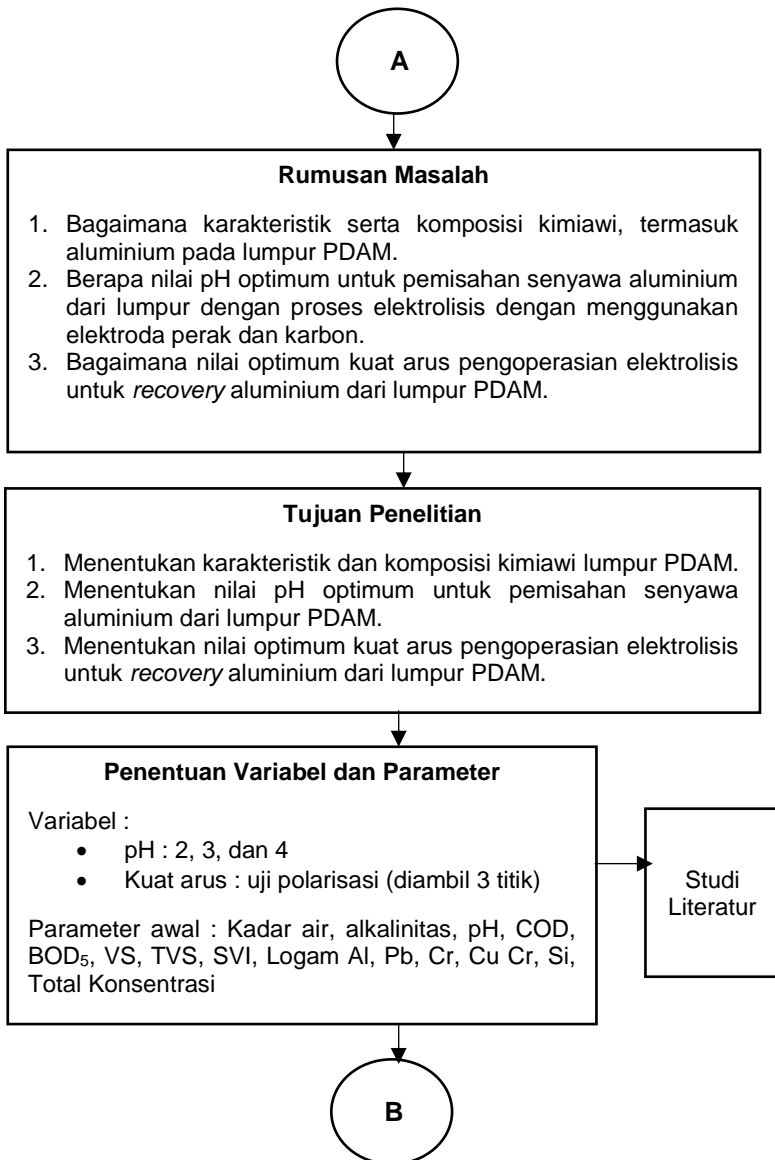
1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan penelitian yang akan dilaksanakan agar pelaksanaan penelitian dapat terencana secara sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam pelaksanaan penelitian dari awal penelitian sampai penulisan laporan akhir penelitian.
3. Mempermudah untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.
4. Menghindari dan memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan yang terjadi selama penelitian berlangsung.

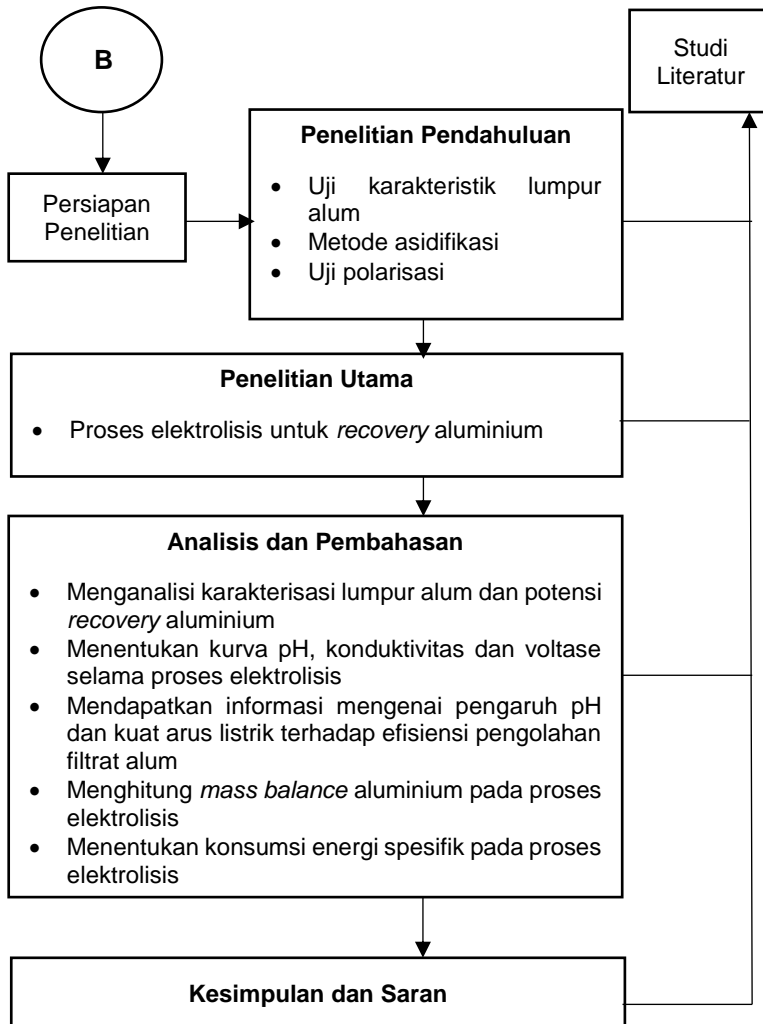
Kerangka Penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.4 Ide Penelitian

Ide penelitian ini berawal dari kondisi eksisting dimana lumpur alum dibuang langsung ke sungai dan lumpur alum memiliki tingkat toksisitas tinggi sehingga perlu dilakukan pengolahan berupa *recovery* aluminium yang akan digunakan kembali sebagai koagulan dalam pengolahan air baku. Penelitian mengenai karakterisasi lumpur PDAM dan potensi *recovery* aluminium dengan metode asidifikasi dan elektrolisis yang masih sedikit dilakukan PDAM di Indonesia.







Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.5 Studi Literatur

Studi literatur penelitian bertujuan untuk mendukung dan membantu ide penelitian serta meningkatkan pemahaman yang lebih jelas terhadap penelitian yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari jurnal penelitian nasional maupun internasional, *review journal*, disertasi, laporan tugas akhir, *thesis*, *text book*, dan penelitian terdahulu. Literatur yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah:

- Karakterisasi logam aluminium
- Pemanfaatan logam aluminium untuk pengolahan air minum
- Karakterisasi lumpur alum
- Asal lumpur alum
- Potensi pencemar lumpur alum
- Pengolahan lumpur alum secara fisik dan kimia,
- Mekanisme elektrolisis
- Elektroda pada elektrolisis
- Faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis
- Penelitian Terdahulu

3.6 Penentuan Variabel Penelitian

Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

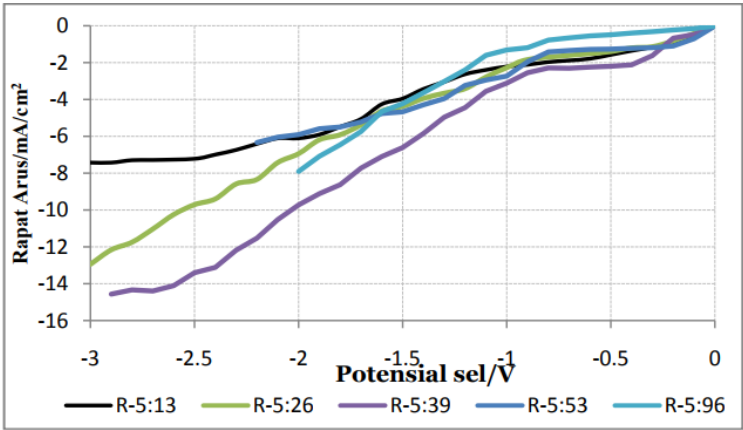
1. pH
Penambahan asam sulfat dilakukan pada proses asidifikasi dengan variasi pH 2, 3, dan 4.
2. Kuat arus listrik
Untuk menentukan variasi kuat arus, maka perlu dilakukan uji polarisasi terlebih dahulu. Polarisasi dilakukan untuk mengetahui hubungan voltase dan densitas arus pada variasi pasangan elektroda (Widayatno *et al.*, 2016). Kurva polarisasi juga dapat digunakan untuk menentukan metode elektrokimia untuk mengambil kembali aluminium dari larutan limbah. Pada penelitian ini akan diambil sebanyak 3 titik kuat arus pada kurva. Potensial sel dan rapat arus untuk proses *recovery* aluminium menggunakan elektrolisis juga dapat ditentukan pada kurva polarisasi tersebut. Data yang dibutuhkan berupa potensial reduksi standar yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Potensial Reduksi Standar

Reaksi reduksi	E _{sel}
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}_{(\text{s})}$	-1,66 V
$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{OH}^-_{(\text{aq})}$	-0,83 V
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}_{(\text{s})}$	-0,13 V
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})}$	0,16 V
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}_{(\text{s})}$	-0,74 V
$\text{Ag}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,8 V

Sumber: Yulianti (2016)

Menurut penelitian Widayatno *et al.* (2015), kurva polarisasi untuk larutan elektrolit perak dengan berbagai komposisi dan konsentrasi secara umum terlihat bahwa arus pada katoda mengalir sejak pada voltase/potensial sel yang rendah, akan tetapi pada potensial sel antara 0 – 2 V tidak terlihat adanya hasil plating perak pada benda kerja. Reaksi reduksi perak kemungkinan besar terjadi pada potensial antara -2.0 V dan -3.0 V ditandai dengan kenaikan rapat arus yang signifikan sampai terlihat rapat arus yang konstan (sebagai *limiting current*). Hasil percobaan disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Kurva Polarisasi larutan perak dengan berbagai Rasio komposisi AgNO₃:KCN

Sumber: Widayatno *et al.* (2015)

Terlihat bahwa semakin rendah rasio AgNO_3 terhadap KCN, rapat arus listrik pada katoda semakin meningkat sampai pada rasio 5:39. Rasio di bawah itu (5:53 dan 5:96), menyebabkan rapat arus katoda kembali menurun. Hal ini boleh jadi berkaitan dengan pembentukan molekul kompleks AgNO_3 dan KCN. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa rasio mol AgNO_3 :KCN yang optimum adalah 5:39. Sedangkan besarnya rapat arus listrik untuk plating perak dari larutan dengan rasio mol AgNO_3 :KCN 5:39 kemungkinan sebesar -10.0 sampai dengan -14.0 mA/cm^2 . Dijelaskan bahwa dari percobaan polarisasi, tujuan yang akan dicapai adalah didapatkan voltase dimana Al mengendap dan H_2 terbentuk sehingga nilai voltase dimasukkan ke dalam kurva polarisasi dan didapat *range* densitas arus untuk menentukan variasi densitas arus pada proses elektrolisis.

3.7 Persiapan Alat dan Bahan

a. Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

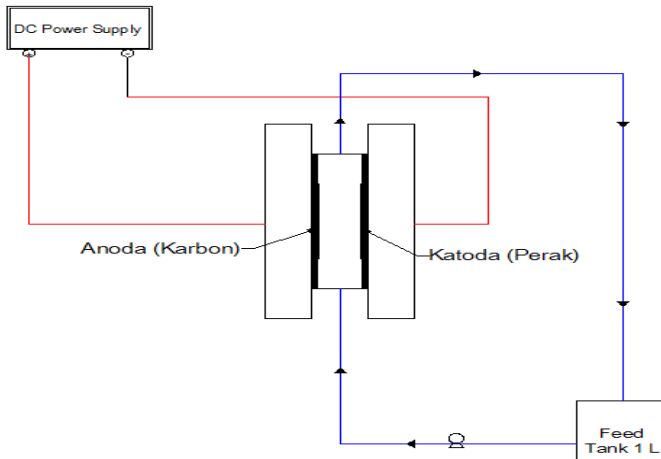
- a. Lumpur alum dikeringkan hingga menjadi lumpur kering alum diambil di PDAM Surabaya pada unit *drain clearator*.
- b. Filtrat hasil proses asidifikasi
Volume filtrat yang digunakan untuk proses elektrolisis pada *feed tank* dengan sistem *batch* ditentukan sebanyak 1 L.
- c. Larutan H_2SO_4
Larutan H_2SO_4 digunakan untuk pengkondisian variasi pH awal proses. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses perolehan kembali aluminium adalah konsentrasi asam kuat serta massa lumpur kering yang digunakan.

b. Persiapan Alat

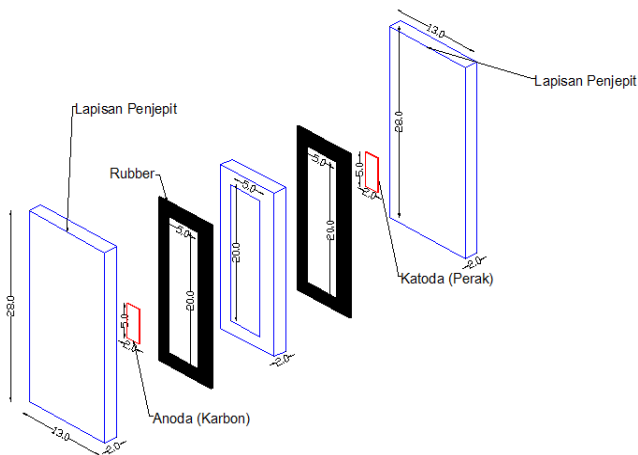
Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Reaktor
Reaktor yang akan digunakan terbuat dari bahan akrilik dengan dimensi panjang x lebar x tinggi adalah 5 cm x 2 cm x 20 cm dengan reaktor didesain secara tertutup. Jumlah reaktor yang dibutuhkan adalah 1 buah. Jumlah kompartemen yang digunakan sebanyak 1 buah dengan sistem *batch recirculation*, karena dalam penelitian ini menggunakan skala

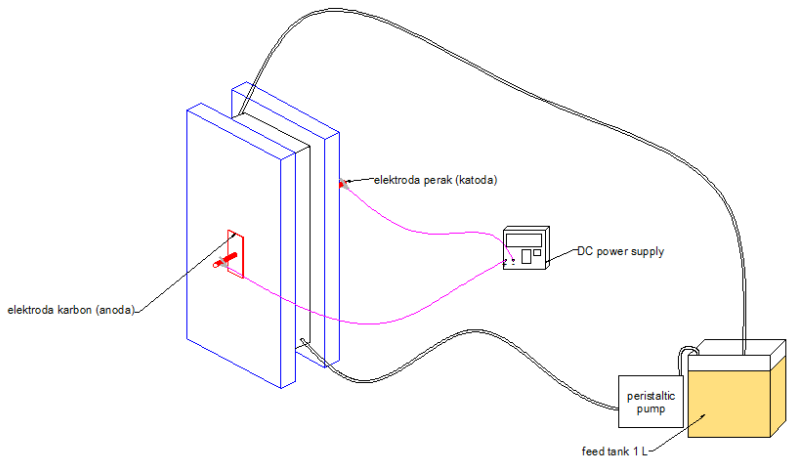
laboratorium. Dan Gambar 3.3 menunjukkan skema reaktor elektrolisis. Dan pada Gambar 3.4 dan 3.5 merupakan konfigurasi reaktor elektrolisis dan gambar 3 dimensi dari reaktor elektrolisis.



Gambar 3. 3 Skema Reaktor Elektrolisis



Gambar 3. 4 Konfigurasi Reaktor Elektrolisis



Gambar 3. 5 Reaktor Elektrolisis

- b. Elektroda
Elektroda yang digunakan adalah perak untuk katoda dan karbon untuk anoda. Bentuk katoda dan anoda adalah berupa lempengan (plat). Dimensi elektroda perak adalah 2 cm x 5 cm dan elektroda karbon adalah 2 cm x 5 cm dengan ketebalan elektroda karbon adalah 0,5 cm dan ketebalan elektroda perak ditetapkan 1 mm agar arus yang mengalir tidak terbagi dengan ketebalan elektorda sehingga ketebalan elektroda dapat diabaikan. Jarak antar elektroda ditetapkan sebesar 1 cm.
- c. Adaptor
Adaptor yang digunakan adalah *DC Power Supply* dengan tegangan maksimum sebesar 30 V. *DC Power Supply* berfungsi sumber arus listrik pada proses elektrolisis.
- d. Selang
Selang berfungsi untuk mengalirkan filtrat ke dalam reaktor dengan menggunakan selang yang *chemical resistant* berdiameter 3 – 5 mm.
- e. Kabel
Kabel digunakan untuk mengalirkan arus listrik ke masing-masing elektroda.

- f. *Aligator Wire*
Aligator Wire berfungsi untuk menghubungkan antara elektroda dengan DC *power supply*.
- g. *Feed Tank*
Feed tank yang akan digunakan terbuat dari gelas/kaca. Kapasitas *feed tank* yang digunakan adalah 1 L untuk menampung filtrat dari hasil uji karakteristik lumpur alum.
- h. Pompa
Pompa yang digunakan adalah *peristaltic pump* dengan debit 5 mL per detik sebanyak 1 buah untuk mengalirkan filtrat dari *feed tank* menuju reaktor elektrolisis.
- i. *Magnetic Stirrer*
Magnetic Stirrer digunakan untuk menghomogenkan filtrat yang ada di dalam *feed tank* karena proses resirkulasi pada elektrolisis.

3.8 Penelitian Pendahuluan

1. Uji Karakterisasi Lumpur Alum

Lumpur kering alum dianalisis kadar air, pH, suhu dan massa jenisnya. Pengukuran kadar air berdasarkan metode gravimetri yakni selisih berat cawan awal dan akhir (setelah dimasukkan ke dalam oven 105°C) dengan rumus empiris yakni:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

(Noriko dkk., 2012)

Keterangan:

a = berat lumpur awal

b = berat lumpur akhir yang sudah dikeringkan

2. Analisis Parameter

Analisis parameter dilakukan secara triplo yaitu pada lumpur basah dan lumpur kering. Untuk uji XRF dilakukan pada awal karakterisasi, sedangkan uji *Inductively Coupled Plasma* (ICP) akan dilakukan pada awal dan akhir karakterisasi. Uji karakterisasi dilakukan untuk mengetahui kandungan apa saja yang terdapat dalam lumpur alum. Untuk mengetahui karakteristik lumpur alum dengan menganalisis parameter seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Uji Karakterisasi Lumpur Alum

No.	Parameter	Metode Pengujian	Sumber
1	Kadar air	Gravimetri	APHA, 2012
2	pH	Voltmetri	APHA, 2012
3	Alkalinitas	Alkalinitimeter	APHA, 2012
4	<i>Volatile Solids</i>	Gravimetri	APHA, 2012
5	<i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	Gravimetri	APHA, 2012
6	Pb, Cr, Cu, Si, Fe, dan Al	<i>Chromatography Test</i>	<i>Inductively Coupled Plasma (ICP)</i>
7	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	<i>Closed Reflux</i>	APHA, 2012
8	<i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	<i>Five days BOD test</i>	APHA, 2012
9	<i>Sludge Volume Index (SVI)</i>	<i>Imhoff cone</i>	APHA, 2012

3. Asidifikasi

Persyaratan kadar padatan kering lumpur yang diinginkan tergantung pada penanganan akhir yang akan dilakukan, umumnya berkisar 20%. Proses asidifikasi dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

a. Untuk variasi pH 2 lumpur alum kering dengan konsentrasi 20% diencerkan dengan asam sulfat dengan perhitungan:

- 20% lumpur alum kering sama dengan 200 g. Densitas dari H_2SO_4 adalah $1,84 \text{ g/cm}^3$. Sehingga untuk menghitung volume lumpur alum kering:

$$\text{Volume lumpur alum kering} = \frac{\text{massa}}{\text{densitas}} = \frac{200 \text{ g}}{1,84 \text{ g/cm}^3} =$$

$$108,69 \text{ cm}^3 = 109 \text{ ml}$$

- Volume lumpur alum kering sebanyak 109 ml diencerkan dengan aquades hingga 200 ml dan diukur pH awal. Selanjutnya ditambahkan asam sulfat pekat hingga 1000 ml. Tujuan ditambahkan asam sulfat yakni untuk mengekstrak aluminium yang terdapat dalam lumpur alum.

- b. Perhitungan diulangi untuk variasi pH 3 dan 4. Selanjutnya di *magnetic stirrer* selama 30 – 60 menit hingga larutan homogen
- c. Dilakukan sentrifugasi untuk memisahkan antara dua fase yaitu natan dan supernatan. Supernatan akan digunakan sebagai filtrat dalam proses elektrolisis.

3.9 Penelitian Utama

Proses elektrolisis dilakukan dengan tahap berikut:

1. Elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis adalah perak (katoda) dan karbon (anoda). Sebelum dilakukan penimbangan berat awal elektroda perak dicuci terlebih dahulu dengan aquades untuk menghilangkan kontaminan yang menempel pada elektroda. Kemudian dikeringkan dan dilakukan penimbangan berat awal.
2. Supernatan dari hasil *centrifuge* dimasukkan ke dalam *feed tank* berukuran 1 liter dan dilakukan proses *running* selama 10 jam (Elicker *et al.*, 2014). Fungsi *centrifuge* adalah memisahkan natan dan supernatan dari lumpur alum. Proses diawali dengan supernatan dalam *feed tank* dialirkan dengan selang melalui pompa ke dalam reaktor.
3. Masing-masing filtrat dengan pH 2, 3, dan 4 selanjutnya dialirkan dari *feed tank* menggunakan selang dan pompa ke reaktor untuk dilakukan *running*. Proses *running* dilakukan bergantian antar filtrat. Hasil aluminium yang menempel di katoda perak dikeringkan di oven suhu 105 °C dan selanjutnya ditimbang. Penimbangan berat akhir pada elektroda perak. Untuk mengetahui berat aluminium yang menempel pada katoda dengan rumus :

$$\text{Berat aluminium (g)} = \text{Berat katoda akhir (g)} - \text{Berat katoda awal (g)}$$

(Ahmad, 2011).

Untuk memastikan yang menempel pada katoda adalah aluminium dan apabila berat elektroda katoda perak lebih kecil daripada berat awal dengan melakukan perhitungan *mass balance*.

4. Reaktor yang telah digunakan selanjutnya dibersihkan dengan cara dicuci aquades pada setiap sisi reaktor.

Setelah reaktor bersih, dapat digunakan kembali dengan sampel filtrat yang baru.

5. Selama proses elektrolisis dilakukan pengukuran pH, tegangan listrik dan konduktivitas setiap jam (*time series*).
6. Prosedur peluruhan aluminium pada katoda perak adalah dengan menggunakan asam kuat (HNO_3) sehingga aluminium yang didapatkan adalah dalam bentuk cairan.

3.10 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dan melakukan pembahasan terhadap hasil uji karakteristik lumpur alum dari kadar air, alkalinitas, pH, COD, BOD₅, *volatile solids*, *total dissolved solids*, SVI, dan Al, Fe, Cu, Cr, dan Pb.
2. Menganalisis dan melakukan pembahasan pada pengaruh variasi pH, kuat arus dan efisiensi *recovery* aluminium dengan membuat tabel dan kurva untuk masing-masing data yang didapat. Perhitungan nilai *recovery* aluminium ditentukan dengan rumus:

$$\% \text{ recovery factor} = \frac{P-Q}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

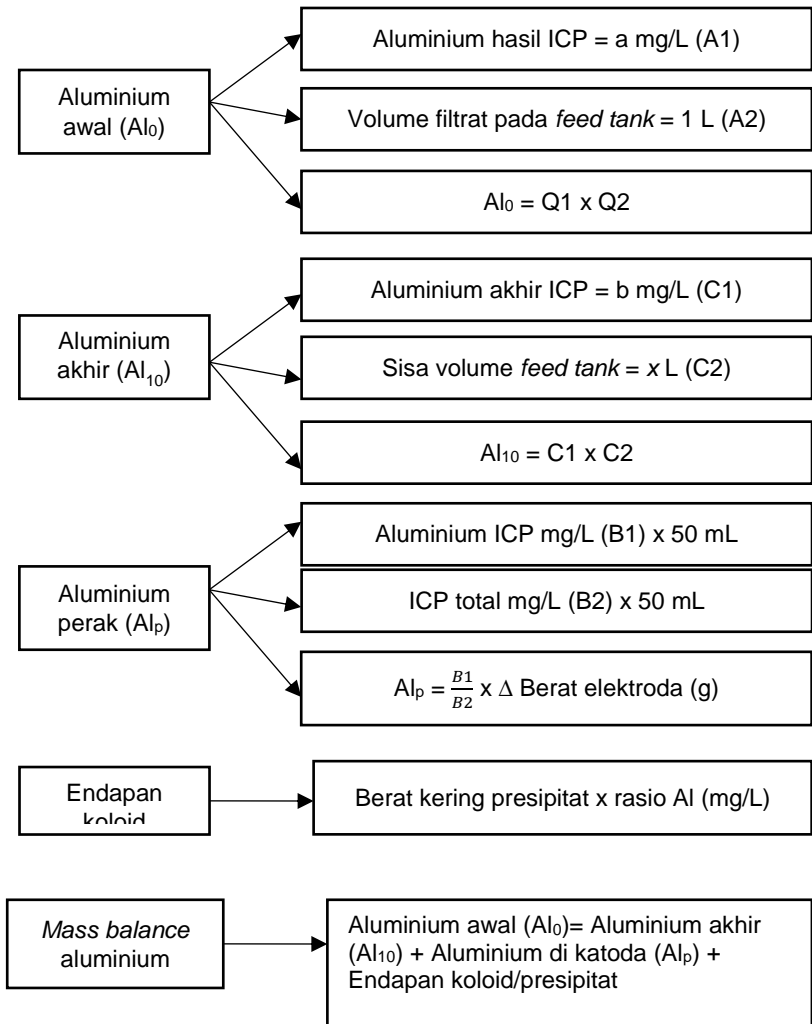
- P = berat elektroda setelah elektrolisis (gram)
 Q = berat elektroda sebelum elektrolisis (gram)
 A = berat lumpur yang diolah (gram)

3. *Mass balance* aluminium dilakukan dengan penjelasan berikut:
 - a. Aluminium awal (Al_0) didapatkan dari aluminium hasil ICP (mg/L) dikalikan dengan volume filtrat *feedtank* dalam L.
 - b. Aluminium akhir (Al_{10}) didapatkan dari aluminium hasil ICP (mg/L) dikalikan dengan sisa volume *feedtank* dalam x L.
 - c. Aluminium di katoda (Al_p) didapatkan dari hasil ICP aluminium (mg/L) dikalikan dengan mL sampel. Selanjutnya dibagi dengan hasil perkalian antara ICP total (mg/L) dan mL sampel yang diencerkan. Hasil

- dari pembagian tersebut dikalikan dengan selisih berat elektroda perak (g).
- d. Endapan koloid didapatkan dari berat kering hasil sentrifugasi dikalikan dengan rasio Aluminium hasil ICP.
 - e. Perhitungan *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 3.6.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan. Kesimpulan harus menjawab rumusan masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Saran diperlukan sebagai penyempurnaan penelitian dan rekomendasi terhadap penelitian terkait untuk meminimalisasi kesalahan dan untuk meningkatkan efisiensi.



Gambar 3. 6 Skema Mass Balance Aluminium

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik awal lumpur alum dan menentukan variasi kuat arus. Variasi kuat arus dilakukan dengan uji polarisasi menggunakan dua buah elektroda dan arus listrik dari *power supply* yang digunakan pada penelitian utama.

4.1.1 Karakterisasi Awal Lumpur Alum

Penelitian ini diawali dengan menganalisis karakteristik awal lumpur alum. Karakteristik lumpur alum merupakan hal penting untuk mengetahui kandungan-kandungan organik, *solid*, dan logam berat yang terdapat dalam lumpur. Hasil dari penelitian pendahuluan ini akan dijadikan sebagai acuan pada penelitian utama. Sampel yang digunakan adalah lumpur alum dari PDAM Surabaya unit *drain clearator*. Hasil yang diperoleh dari penelitian awal karakteristik lumpur alum dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakterisasi Awal Lumpur Alum PDAM Unit Drain Clearator

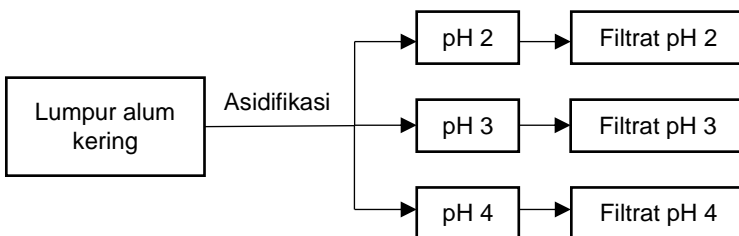
Parameter	Konsentrasi	Satuan
Lumpur Basah		
Kadar air	99,08	%
Alkalinitas	70,83	mg/L HCO_3
pH	7,47	-
COD	9.666,67	mg O_2 /L
BOD5	1.082,47	mg O_2 /L
<i>Volatile Solids</i>	1733,23	mg/L
<i>Total Dissolved Solids</i>	352,76	mg/L
<i>Sludge Volume Index (SVI)</i>	114,18	mg/L
Lumpur Kering		
Al	126.100	mg/kg
Fe	55.400	mg/kg
Cu	59	mg/kg
Cr	23	mg/kg
Si	205.600	mg/kg

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa hasil karakteristik awal lumpur alum PDAM Surabaya unit *drain clearator* memiliki potensi *recovery* aluminium yang salah satunya dapat dilihat pada hasil analisis *Inductively Coupled Plasma* (ICP) dengan konsentrasi Al sebesar 126.100 mg L⁻¹. Selain itu, bila dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air bahwa kadar aluminium hasil karakteristik melebihi baku mutu, sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai. Sebagai alternatif dari pengolahan, dapat dilakukan *recovery* dengan potensi konsentrasi Al yang cukup besar.

Penyajian data dari seluruh parameter merupakan rata-rata dan standar deviasi dari hasil tiga kali analisis yaitu analisis pada lumpur basah dan lumpur kering. Namun, pada Tabel 4.1 yang ditampilkan hanya data rata-rata lumpur basah, sedangkan data lumpur kering dapat dilihat pada lampiran LB.1.

4.1.2 Asidifikasi

Asidifikasi berfungsi melarutkan kandungan Al dalam lumpur dengan penambahan asam sulfat sehingga didapatkan filtrat untuk proses elektrolisis. Asidifikasi dapat dilakukan setelah melakukan pengeringan lumpur alum. Proses asidifikasi dapat dilihat pada Bab 3 Sub bab 3.8 pada poin asidifikasi. Asidifikasi dilakukan berdasarkan variasi pH yang akan dianalisis pada penelitian utama. Berikut bagan proses asidifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.

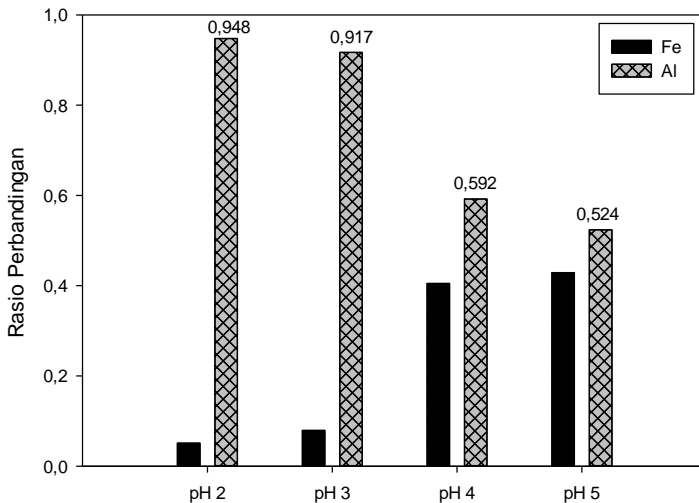


Gambar 4. 1 Proses Asidifikasi Lumpur Alum Kering

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa masing-masing dari variasi pH yaitu pH 2, 3, dan 4 dilakukan penambahan Asam sulfat hingga pH

mencapai pada rentang tersebut. Penambahan asam sulfat bertujuan untuk mengikat kandungan aluminium yang terdapat dalam lumpur sehingga akan dihasilkan filtrat yang mengandung banyak aluminium (Al^{3+}). Filtrat yang akan digunakan pada penelitian pendahuluan adalah sebesar 2 L dan untuk penelitian utama sebanyak 9 kali percobaan dengan satu kali percobaan menggunakan 1 L filtrat.

Asidifikasi juga dilakukan pada pH 2, 3, 4, dan 5 dengan instrumen ICP untuk mengetahui seberapa besar kandungan aluminium dan logam berat yang terkandung pada masing-masing pH. Hasil analisis dengan ICP dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Analisis ICP pada Asidifikasi pH 2, 3, 4, dan 5

Gambar 4.2 Berdasarkan hasil analisis dengan ICP, kandungan aluminium lebih banyak pada pH 2 yaitu sebesar 3.683 mg/L dengan rasio perbandingan Aluminium dengan logam-logam impuritis adalah sebesar 0,948. Pada Gambar hanya ditampilkan hasil analisis ICP Fe dan Aluminium dikarenakan logam impuritis terbesar antara beberapa logam lainnya adalah Fe. Data lengkap

dari analisis ICP dapat dilihat pada lampiran B Tabel LB.2. Kelarutan dipengaruhi oleh kondisi pH dimana semakin rendah pH maka kelarutannya semakin tinggi. Derajat keasaman (pH) air memiliki pengaruh besar terhadap bentuk fisika dan kimia logam dan senyawa logam di lingkungan perairan karena pH mengontrol kelarutan dan konsentrasi spesies logam (Rahmawati, 2011). Peningkatan keasaman larutan meningkatkan konsentrasi ion logam bebas dalam larutan (Liu dan Huang, 1999). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan Al pH 2 > 3 > 4 > 5. Pada proses elektrolisis dipilih pH 2, 3, dan 4 karena pada pH tersebut potensi *recovery* Al cukup besar.

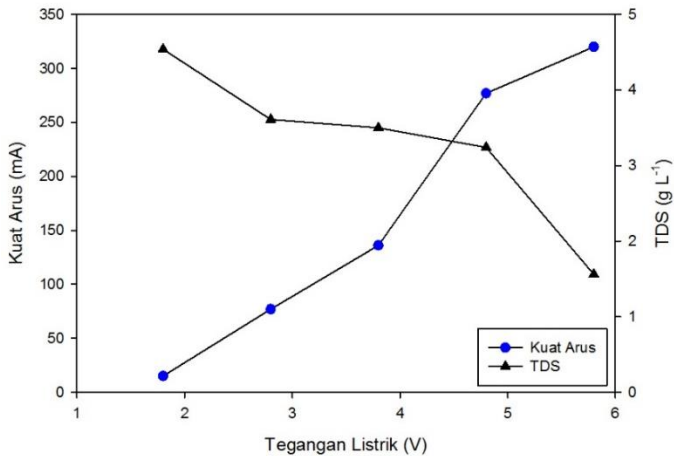
4.1.2 Uji Polarisasi

Uji polarisasi bertujuan untuk menentukan kuat arus yang digunakan pada penelitian utama. Uji polarisasi melibatkan kedua elektroda yaitu perak sebagai katoda dan karbon sebagai anoda dengan menggunakan arus listrik dari *power supply*. Dari hasil penelitian Widayatno *et al.* (2015), bahwa rentang tegangan listrik yang digunakan sebesar 0,2 volt.

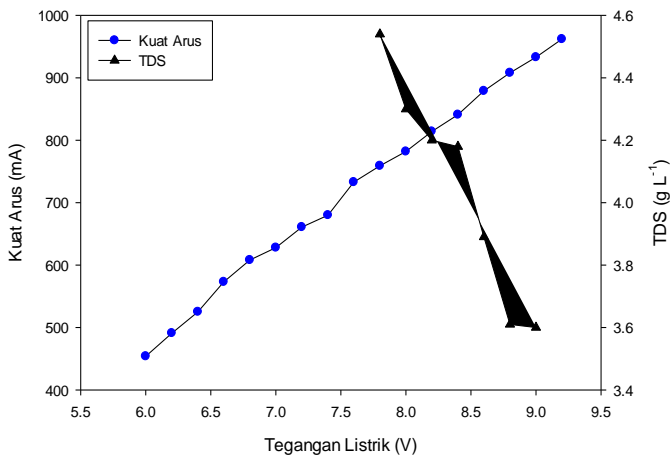
Uji polarisasi pada penelitian ini dilakukan pada rentang pH 2 kuat arus 0-500 mA dan 500-1000 mA dengan melakukan pengecekan pH awal dan TDS awal. Tegangan listrik dimulai pada 0,0 V dan 6,0 V dan akan dinaikkan voltasenya setiap 3 menit. Pengecekan pH dan TDS dilakukan setiap lima titik dan apabila kuat arus sudah mulai terbaca pada *power supply*. Data uji polarisasi dilakukan dengan membandingkan kuat arus 0-500 mA dan 500-1000 mA. Ini bertujuan untuk melihat anomali yang terjadi antara dua kuat arus tersebut yang nantinya salah satu rentang kuat arus akan dijadikan variasi pada penelitian utama. Data lengkap uji polarisasi antara 0-500 mA dan 500-1000 mA dapat dilihat pada Lampiran B Tabel LB.2 dan L.B.3.

Gambar 4.3 pada titik0 dan titik5 tidak dimasukkan ke dalam tabel uji polarisasi karena tidak terjadi perubahan pada kuat arus, sehingga tidak dilakukan pengecekan pH dan TDS. Hal tersebut dikarenakan pada titik tersebut belum terjadi reaksi pembentukan O₂ pada anoda. Semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan maka semakin tinggi kuat arus yang dihasilkan. Pada grafik, nilai TDS yang dihasilkan semakin menurun dan kuat arus yang dihasilkan meningkat. TDS semakin menurun karena semakin

sedikit energi listrik yang dihantarkan. Uji polarisasi dihentikan apabila TDS mengalami penurunan terbesar.



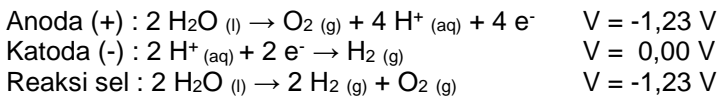
Gambar 4. 3 Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap pH dan TDS 0-500 mA



Gambar 4. 4 Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap pH dan TDS 500-1000 mA

Gambar 4.4 dari hasil pengamatan, kuat arus 500-1000 mA sudah menunjukkan bahwa terdapat gelembung gas di sekitar katoda, yang menandakan terbentuknya gas H₂ pada katoda. Terbentuknya gas H₂ yang terlalu besar dapat menghambat atau mengurangi proses *recovery*. Sehingga diperlukan kuat arus yang lebih rendah pada proses elektrolisis.

Berikut ini reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda:



Berdasarkan perhitungan bahwa tahanan minimal yang diperlukan agar semua kemungkinan pembentukan gas bisa terjadi yaitu 2,46 V dengan perhitungan:

$$E^\circ \text{ sel} = E^\circ \text{ katoda} - E^\circ \text{ anoda} = -1,23 \text{ V} - 0,00 \text{ V} = -1,23 \text{ V}$$

Kemudian, dalam pembentukan O₂ pertama dalam tabel standar potensial reduksi adalah -1,23 V. Sehingga, reaksi sel secara keseluruhan untuk mengetahui potensial reduksi pada katoda adalah dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} E^\circ \text{ sel} &= E^\circ \text{ katoda} - E^\circ \text{ anoda} \\ -1,23 \text{ V} &= E^\circ \text{ katoda} - (-1,23 \text{ V}) \\ E^\circ \text{ katoda} &= -2,46 \text{ V} \end{aligned}$$

Tegangan listrik 2,46 V berada pada kuat arus 77 mA dimana masih berada pada rentang minimal untuk menentukan kuat arus. Jika kuat arus dinaikkan menjadi rentang 100 mA, dengan melihat penurunan TDS yang tidak terlalu besar maka kuat arus 100 mA masih bisa dipakai menjadi variasi pertama dalam proses elektrolisis. Dapat disimpulkan bahwa variasi yang akan digunakan untuk proses elektrolisis adalah 100 mA, 200 mA, dan 300 mA. Pemilihan 300 mA karena pada rentang kuat arus tersebut TDS sudah mengalami penurunan yang cukup besar dan dapat dijadikan kuat arus maksimum dalam proses elektrolisis.

4.2 Penelitian Utama

Pelaksanaan penelitian utama bertujuan untuk mengetahui pH optimum dan kuat arus optimum dalam *merecovery* aluminium dengan proses elektrolisis. Variasi pH yang digunakan adalah pH 2, 3, dan 4. Variasi yang kedua adalah kuat arus yang didapatkan dari uji polarisasi yaitu 100 mA, 200 mA, dan 300 mA. Waktu operasi untuk setiap variasi adalah 10 jam dengan parameter yang dianalisis adalah TDS dan pH.

Pada penelitian ini akan dilakukan proses elektrolisis dengan menggunakan elektroda perak sebagai katoda dan karbon sebagai anoda dalam satu kompartemen tanpa membran. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya proses reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan dalam satu kompartemen yang mengakibatkan ion-ion dalam filtrat saling bergerak menuju anoda dan katoda.

Ion-ion seperti Al^{3+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} merupakan beberapa ion yang terdapat dalam filtrat hasil asidifikasi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda sebab memerlukan elektron dan kutub positif sumber arus mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Logam-logam berat akan ikut teroksidasi ke katoda dan menempel di katoda. Hal ini disebabkan karena tidak ada pembatas atau membran sehingga ion-ion pengganggu juga ikut mengalami oksidasi maupun reduksi. Pada anoda, terjadi proses oksidasi yang mengakibatkan molekul $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ terpecah menjadi $\text{O}_{2(g)}$. Sedangkan pada katoda, terjadi proses reduksi ion $\text{H}^+_{(aq)}$ menjadi $\text{H}_{2(g)}$.

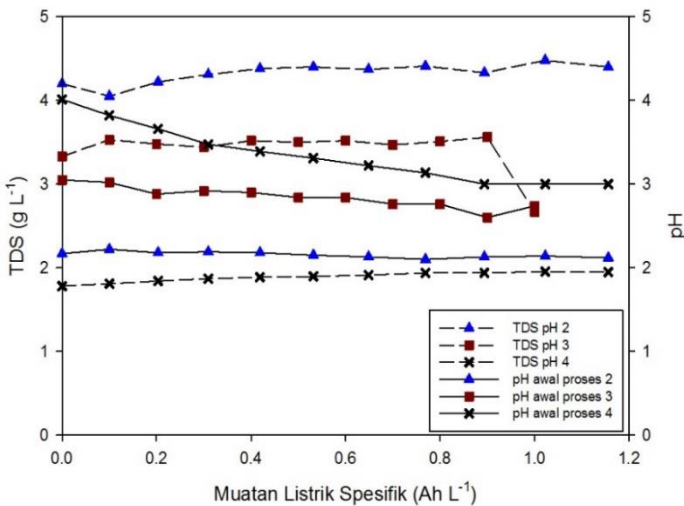
4.2.1 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 100 mA, 200 mA dan 300 mA

TDS pada filtrat alum menunjukkan adanya zat anorganik dan organik yang terkandung di dalam air, dimana TDS merupakan jumlah kation dan anion dalam air. Ion dan senyawa ionik yang menyusun TDS biasanya termasuk karbonat dan bikarbonat

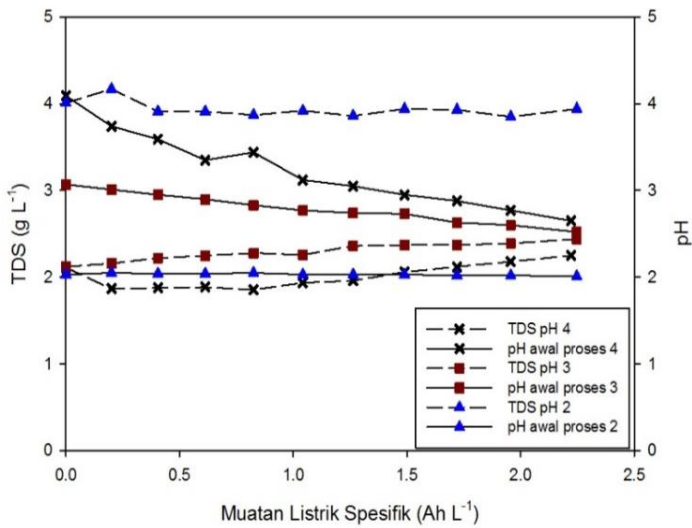
(Durfor dan Becker, 1972). Semakin tinggi nilai TDS dalam air, semakin banyak kandungan zat atau unsur terlarut didalamnya. Dan sebaliknya jika nilai TDS semakin rendah maka semakin sedikit kandungan zat atau unsur yang terlarut.

Aluminium Sulfat pada filtrat akan terionisasi menjadi Al^{3+} dan SO_4^{2-} . Analisis pH dan TDS dilakukan untuk menentukan apakah dengan variasi kuat arus yang diberikan dapat menurunkan kadar TDS dan dapat menaikkan pH pada filtrat. Tren pH dan TDS pada variasi kuat arus 100 mA, 200 mA dan 300 mA pada pH 2, 3, dan 4 tertera pada Gambar 4.5 hingga Gambar 4.7. Data hasil analisis pH dan TDS terlampir pada Lampiran B Tabel LB.4 sampai LB.12.

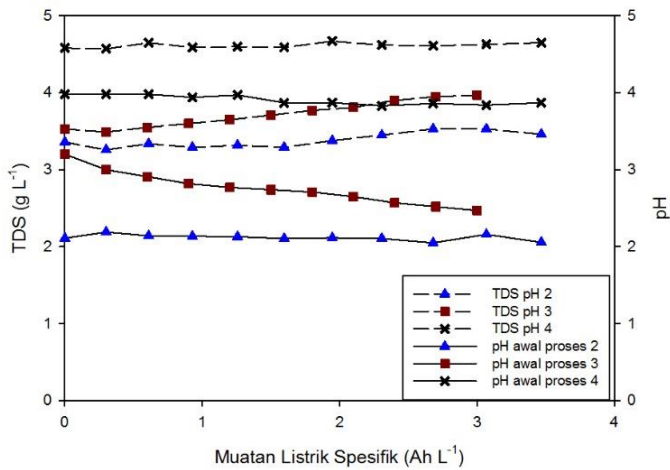
Pada Grafik 4.5, pH awal proses 2 cenderung konstan sedangkan pada pH awal proses 4 mengalami penurunan dimana pada awal operasi (t_0) nilai pH sebesar 4,01 dan pada akhir operasi (t_{10}) nilai pH sebesar 3,00. TDS pada pH 2 cenderung mengalami kenaikan dimana pada awal operasi (t_0) nilai TDS sebesar 4,20 g L^{-1} dan pada akhir operasi (t_{10}) nilai TDS sebesar 4,40 g L^{-1} .



Gambar 4. 5 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 100 mA



Gambar 4. 6 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 200 mA



Gambar 4. 7 Tren pH dan TDS pada Kuat Arus 300 mA

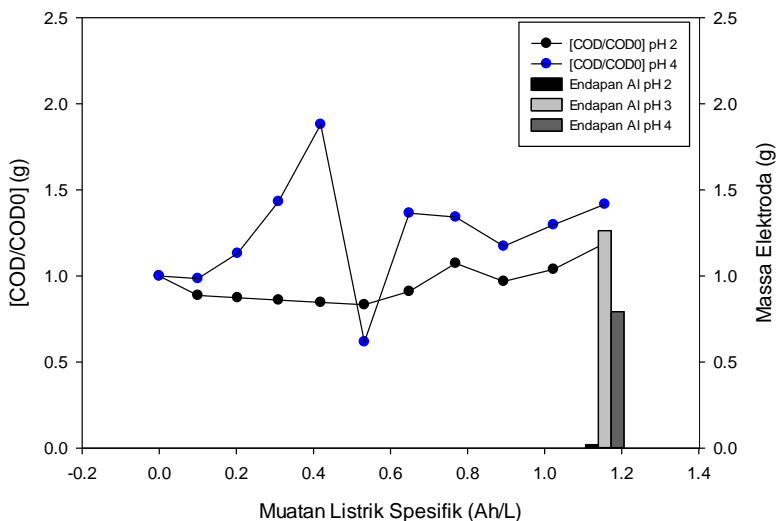
Grafik 4.6 merupakan tren pH dan TDS pada kuat arus 200 mA. Pada pH awal proses 2 dan 3 dan TDS pH 2 dan 3 cenderung konstan karena tidak terjadi kenaikan dan penurunan yang cukup besar. pH awal proses 4 dan TDS pH 4, cenderung konstan pada TDS, pada pH awal proses 4 mengalami penurunan yaitu dari 4,09 hingga 2,65.

Grafik 4.7 merupakan tren pH dan TDS kuat arus dinaikkan menjadi 300 mA. Dari grafik, pH awal proses 2 dan 4 cenderung stabil dan TDS pada pH 2 mengalami kenaikan sedangkan pada pH 4 cenderung konstan. Secara keseluruhan, jika pH 2 100 mA dan pH 2 300 mA dibandingkan, nilai pH dan TDS sama-sama cenderung konstan meskipun kuat arus sudah dinaikkan menjadi 300 mA. Pada pH 4 100 mA dan pH 4 300 mA sama-sama mengalami penurunan pada pH dan kenaikan pada TDS. Dari gambar tersebut jika dibandingkan antara nilai pH dan TDS, ketiga gambar sama-sama mengalami kenaikan dan penurunan pH dan TDS walaupun kuat arus ditambah.

Dari penelitian tersebut, nilai pH dan TDS cenderung dalam kondisi konstan dimana tidak mengalami kenaikan dan penurunan yang begitu besar. Ini diakibatkan karena ion-ion yang terlarut dalam kompartemen yang langsung terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi sekaligus tanpa adanya pembatas (membran) sehingga logam-logam berat yang terkandung dalam filtrat ikut terlarut. Penurunan pH juga diakibatkan karena adanya asam-asam yang terlarut dalam reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara bersamaan dalam satu kompartemen. Asam-asam yang terlarut kemungkinan besar berasal dari ion-ion yang terlarut dalam proses elektrolisis.

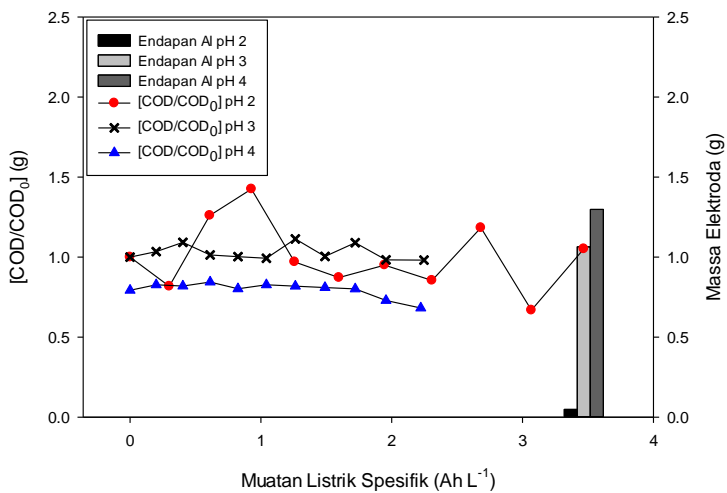
4.2.2 Nilai COD dan Endapan Aluminium pada Katoda dengan Kuat Arus 100 mA, 200 mA, dan 300 mA

Analisis COD dilakukan pada uji karakterisasi awal lumpur alum dan pada analisis filtrat elektrolisis dikarenakan untuk mengetahui kandungan organik yang terlarut selama proses elektrolisis dan ion-ion lain yang mengkonsumsi oksigen. Pengambilan sampel dilakukan setiap jam sehingga dapat dianalisa pada jam ke-0 hingga jam ke-10.

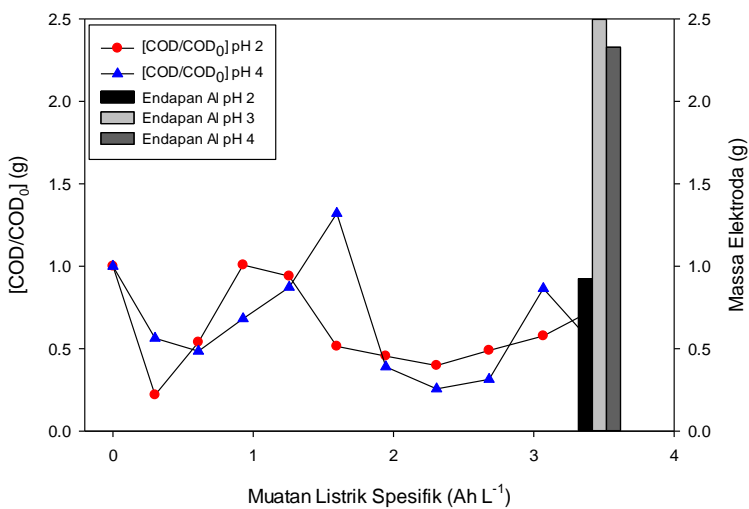


Gambar 4. 8 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 100 mA

Gambar 4.8 merupakan hubungan nilai COD dan massa elektroda. Nilai COD pada pH awal proses 2 mengalami penurunan pada jam ke-0 hingga jam ke-5, namun pada jam ke-6 hingga jam ke-7 terjadi kenaikan nilai COD masing-masing 0,910 g dan 1,074 g. Sedangkan nilai COD pada pH awal proses 4 mengalami kenaikan pada jam ke-3 hingga jam ke-4. Pada jam ke-4 menuju jam ke-5 mengalami penurunan yang cukup besar yaitu 1,880 g menjadi 0,617 g. Kenaikan nilai COD kemungkinan besar karena ion-ion lain ikut mengkonsumsi O_2 pada saat proses elektrolisis. Selain itu, hubungan antara massa elektroda dengan nilai COD adalah untuk mengetahui besarnya muatan listrik spesifik yang digunakan untuk menurunkan nilai COD.



Gambar 4. 9 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 200 mA



Gambar 4. 10 Nilai COD dan Endapan Aluminium Kuat Arus 300 mA

Pada Gambar 4.10, nilai massa COD pada pH awal proses 2 mengalami kenaikan pada jam ke-1 hingga jam ke-3 yaitu masing-masing 0,219 g; 0,539 g, dan 1,008 g. Nilai massa COD pada pH awal proses 4 juga mengalami kenaikan pada jam ke-2 hingga jam ke-5 dengan nilai masing-masing 0,485 g; 0,682 g; 0,873; dan 1,321 g. Kenaikan massa COD kemungkinan besar disebabkan karena ion-ion mengkonsumsi oksigen dalam jumlah yang besar.

Peningkatan waktu elektrolisis ini akan memperbanyak ion-ion yang terbentuk antara elektroda dengan filtrat sehingga mengakibatkan COD yang lebih tinggi (Khandegar dan Saroha, 2012). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Hudha, *et al.* (2014), yakni semakin lama waktu elektrolisis yang digunakan akan menyebabkan terbentuknya jumlah spesies aktif yang semakin bertambah seperti O dan OH. Sehingga bahan-bahan organik yang teroksidasi semakin banyak.

Pengukuran berat elektroda dilakukan sebelum proses elektrolisis dan setelah proses elektrolisis. Berikut ini data berat elektroda karbon dan perak disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Berat Elektroda pada Percobaan Elektrolisis

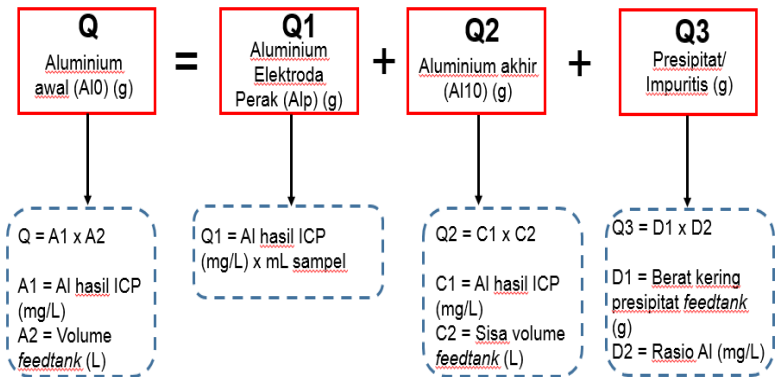
Percobaan	Berat Awal Elektroda (g)		Berat Akhir Elektroda (g)		Selisih Berat Elektroda (g)	
	Karbon	Perak	Karbon	Perak	Karbon	Perak
pH 2 100 mA	19.9874	22.1575	20.5539	22.1778	0.5665	0.0203
pH 3 100 mA	19.6069	23.7885	20.3788	25.0521	0.7719	1.2636
pH 4 100 mA	19.8280	22.6193	20.3026	23.4117	0.4746	0.7924
pH 2 200 mA	20.7700	21.538	21.5469	21.5871	0.7769	0.0491
pH 3 200 mA	16.8557	21.3561	17.3507	22.4210	0.4950	1.0649
pH 4 200 mA	19.6834	21.4505	20.0075	22.7484	0.3241	1.2979
pH 2 300 mA	21.2991	22.1263	21.7760	23.0509	0.4769	0.9246
pH 3 300 mA	20.1275	23.8456	20.1946	26.4568	0.0671	2.6112
pH 4 300 mA	21.1525	23.9203	22.0736	26.2493	0.9211	2.3290

Tabel 4.2 menunjukkan berat elektroda saat sebelum elektrolisis dan sesudah elektrolisis. Pengukuran berat elektroda ini bertujuan untuk mengetahui penambahan berat antara masing-masing elektroda. Berat elektroda ini akan digunakan dalam perhitungan *mass balance* dan persentase komposisi logam.

Katoda berbahan dasar 100% perak murni, karena perak murni sulit untuk direduksi. Anoda pada penelitian dipilih yang bersifat *inert* agar tidak mengalami reaksi kimia selama proses elektrolisis. Berat elektroda perak dan karbon untuk masing-masing pH mengalami kenaikan. Khususnya pada elektroda perak dimana kenaikan berat paling besar pada percobaan pH 3 300 mA sebesar 2,6112 g. Ini menunjukkan bahwa pada elektroda perak aluminium sudah menempel dan diperkirakan logam-logam berat lainnya juga ikut menempel karena reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi bersamaan dalam satu kompartemen tanpa membran. Pada elektroda karbon, diperkirakan kenaikan berat pada elektroda disebabkan karena selain karbon merupakan pada saat proses elektrolisis, pori-pori pada elektroda karbon terbuka dan menyerap ion-ion logam lainnya.

4.2.3 Mass Balance Aluminium

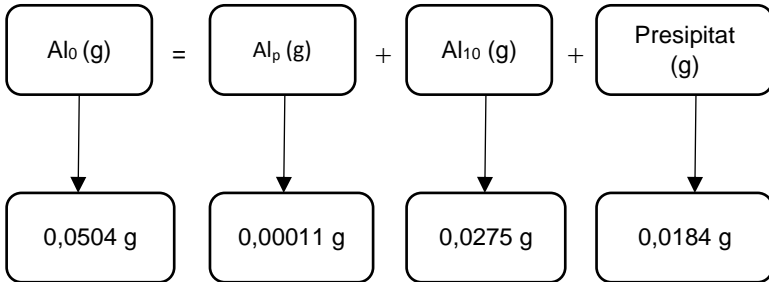
. Perhitungan *mass balance* aluminium diperlukan untuk memastikan jumlah aluminium yang terdapat pada awal proses elektrolisis sama dengan jumlah yang menempel pada elektroda dan dengan melihat jumlah aluminium pada akhir elektrolisis serta endapan koloid/presipitat yang terdapat pada *feed tank*. Skema perhitungan *mass balance* aluminium dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Skema Mass Balance Aluminium

Berikut ini perhitungan *mass balance* proses elektrolisis:

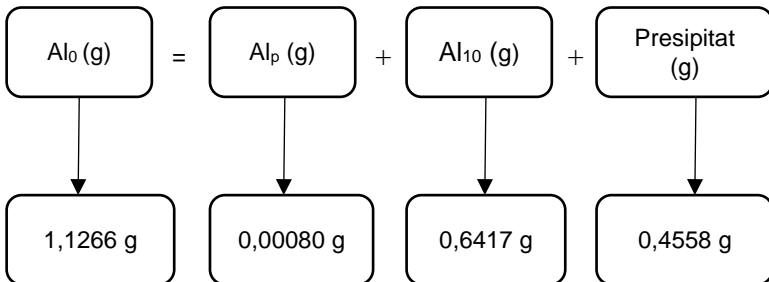
a. *Mass balance* aluminium pada pH 2 100 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,00442 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,21%
- Al *recovery* koloida = 36,5%

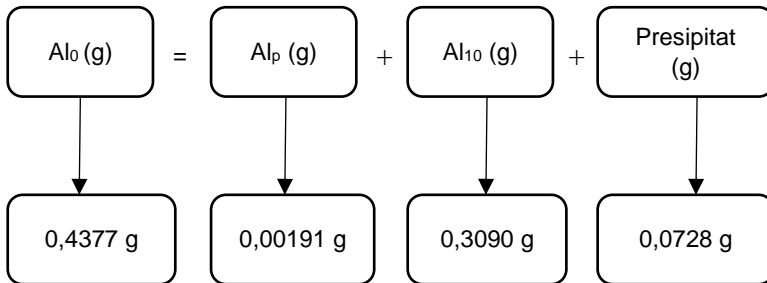
b. *Mass balance* aluminium pada pH 3 100 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,02831 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,071%
- Al *recovery* koloida = 40,5%

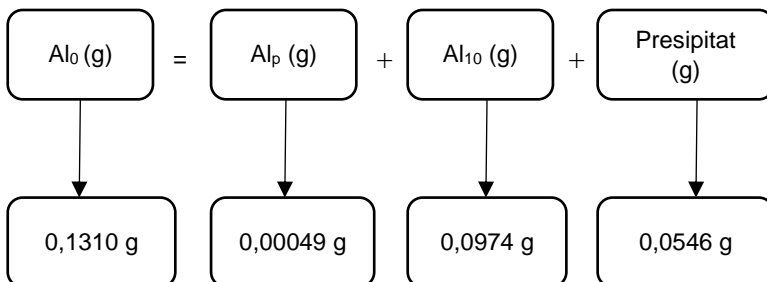
c. *Mass balance* aluminium pada pH 4 100 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,05396 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,435%
- Al *recovery* koloida = 16,6%

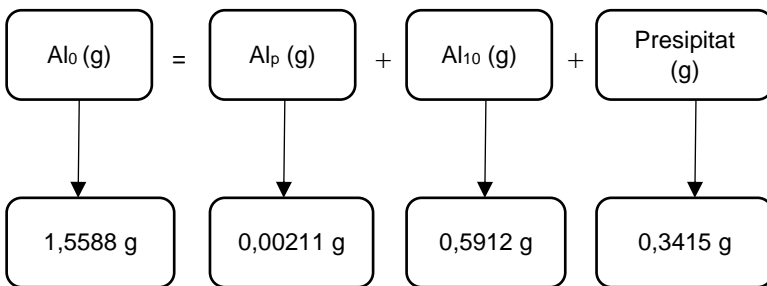
d. *Mass balance* aluminium pada pH 2 200 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk berlebih = 0,02137 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,371%
- Al *recovery* koloida = 41,7%

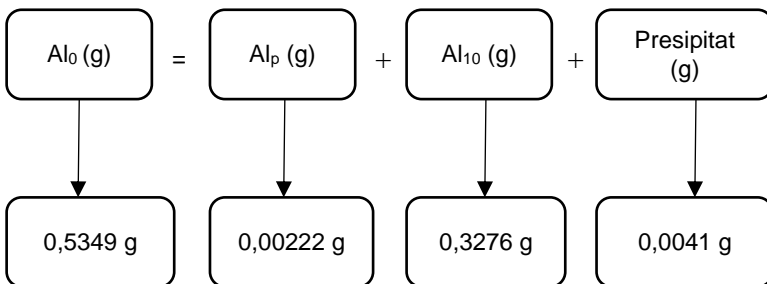
e. *Mass balance aluminium pada pH 3 200 mA*



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,62396 g
- Al recovery yang menempel = 0,135%
- Al recovery koloida = 21,9%

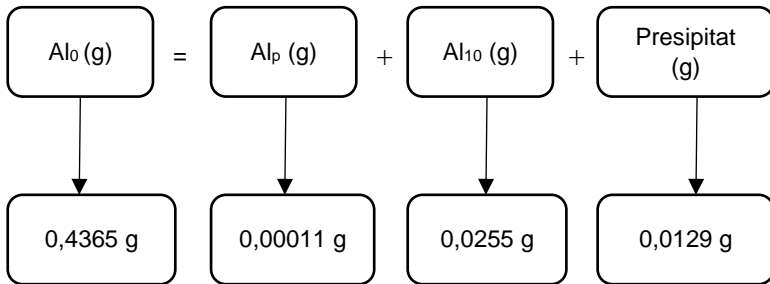
f. *Mass balance* aluminium pada pH 4 200 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,20103 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,415%
- Al *recovery* koloida = 0,77%

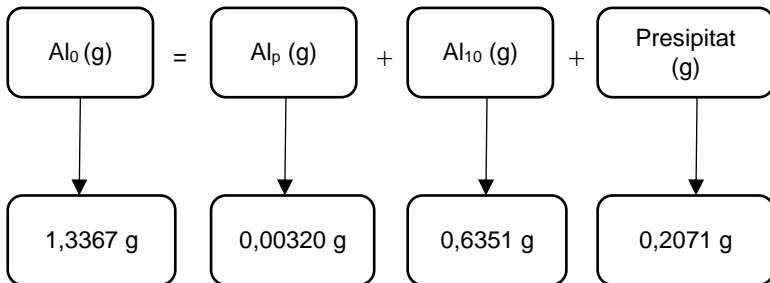
g. *Mass balance* aluminium pada pH 2 300 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,39795 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,025%
- Al *recovery* koloida = 2,96%

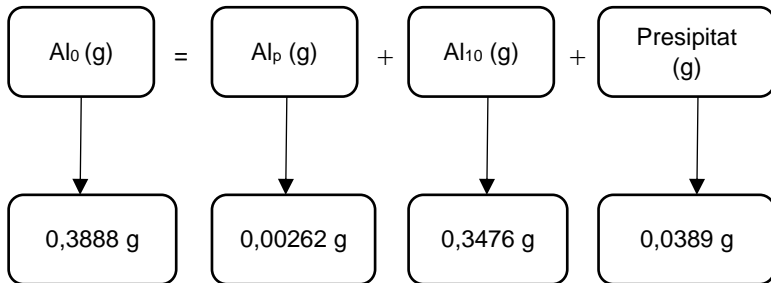
h. *Mass balance* aluminium pada pH 3 300 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

- Produk hilang = 0,49130 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,239%
- Al *recovery* koloida = 15,5%

i. *Mass balance* aluminium pada pH 4 300 mA



Dari perhitungan *mass balance*:

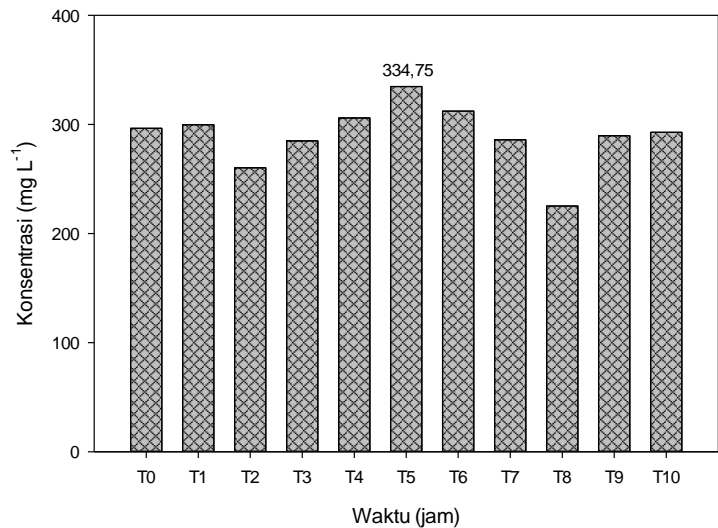
- Produk berlebih = 0,00024 g
- Al *recovery* yang menempel = 0,673%
- Al *recovery* koloida = 10%

Prinsip *mass balance* adalah total berat yang masuk (input) ke dalam suatu tahap proses atau proses keseluruhan akan sama dengan total berat dari *outputnya*. Dari perhitungan *mass balance* berdasarkan variasi pH dan kuat arus terdapat produk hilang dan produk berlebih. Pada produk berlebih, kemungkinan besar disebabkan karena perubahan dari input menjadi bentuk lain pada saat output yaitu pada saat output jumlah konsentrasi komponen dapat berubah seiring dengan pertambahan waktu pada proses elektrolisis yaitu pada Al_{10} dan konsentrasi aluminium akhir lebih besar daripada konsentrasi aluminium awal. Pada produk yang hilang kemungkinan besar disebabkan karena ketidakakuratan dalam penimbangan koloid dalam *feed tank* sehingga hasil yang didapatkan pada input dan output tidak sama.

4.2.4 Pengukuran Konsentrasi Aluminium pada pH dan Kuat Arus Optimum

Pengukuran konsentrasi aluminium setiap jam pada pH dan kuat arus optimum bertujuan untuk mengetahui waktu optimum konsentrasi aluminium paling besar.

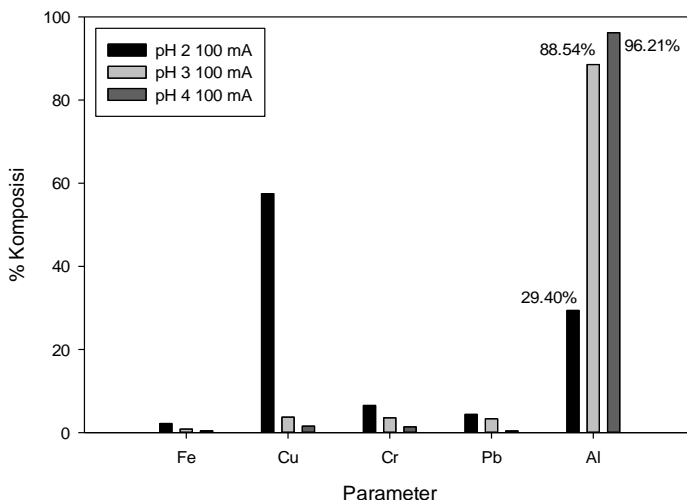
Gambar 4.12 merupakan hubungan antara konsentrasi aluminium dengan waktu operasi. Waktu operasi menyesuaikan dengan waktu operasi pada penelitian utama yaitu 10 jam dan variabel yang digunakan adalah pH optimum dan kuat arus optimum dari proses elektrolisis yaitu pada pH 3 dan kuat arus 300 mA. Pada grafik, jam ke-2 hingga jam ke-5 mengalami kenaikan yaitu sebesar 260,21–334,75 mg/L. ini menunjukkan bahwa, pada rentang waktu tersebut arus listrik yang dihasilkan cukup besar sehingga aluminium yang dihasilkan pada proses elektrolisis mencapai pada rentang tersebut dan proses reduksi dan oksidasi . Sedangkan pada jam ke-5 hingga jam ke-8 konsentrasi aluminium mengalami penurunan yaitu sebesar 334,75–225,23 mg/L. Ditunjukkan dengan TDS dan arus listrik yang mengalir mengalami penurunan.



Gambar 4. 12 Konsentrasi Aluminium Setiap Jam

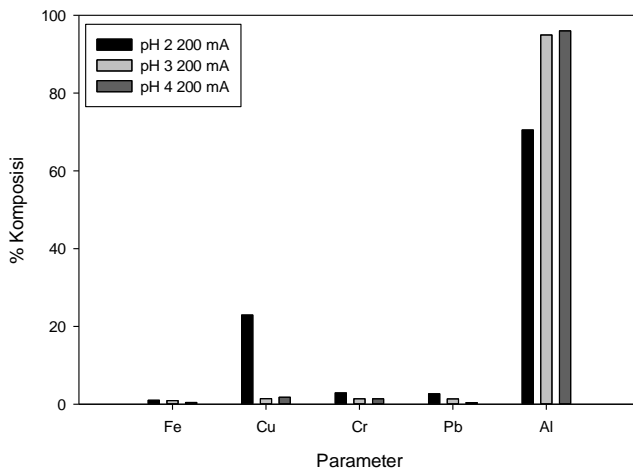
4.2.5 Persentase Komposisi Logam

Persentase komposisi logam diperlukan untuk mengetahui potensi komposisi aluminium yang terlarut pada saat proses elektrolisis. Selain itu, pada komposisi logam juga terdapat beberapa logam impuritis yang dianalisis seperti Fe, Cr, Cu, dan Pb. Komposisi Parameter logam yang diuji dengan hasil analisis ICP dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga 4.14.

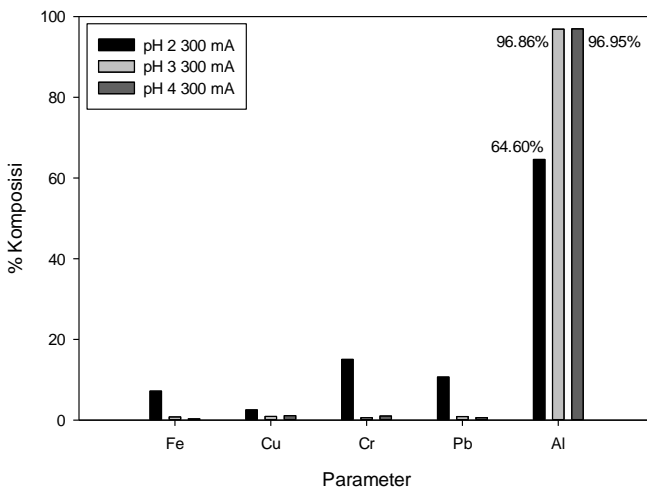


Gambar 4. 13 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 100 mA

Berdasarkan Gambar 4.13, persentase komposisi logam antara pH 2, 3, dan 4 pada kuat arus 100 mA yang terbesar adalah pada pH 4 dengan persentase sebesar 96,21%. Persentase ini didapatkan dari elektroda perak pada akhir operasi elektrolisis yang dilarutkan dengan HNO_3 sebanyak 50 mL. Pelarutan dengan asam nitrat bertujuan untuk melarutkan endapan yang menempel pada elektroda.



Gambar 4. 14 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 200 mA



Gambar 4. 15 Persentase Komposisi Logam Kuat Arus 300 mA

Gambar 4.14, persentase pada elektroda perak dengan kuat arus 200 mA pada pH 2, 3, dan 4 yang terbesar adalah pada pH 4 dengan presentase 95,97% yang mana persentase tersebut telah dikalikan dengan selisih berat elektroda dan didapatkan hasil bahwa aluminium yang terkandung pada pH 4 adalah sebesar 1,2456 g.

Gambar 4.15 merupakan tiga percobaan pada elektroda perak dengan kuat arus 300 mA. Persentase komposisi logam antara pH 2, 3, dan 4 300 mA yang terbesar adalah pada pH 4 300 mA dengan persentase sebesar 96,95%. Namun, pada persentase komposisi logam tidak hanya melihat seberapa besar persentase antara variasi tetapi juga dilakukan perhitungan untuk lebih mengetahui seberapa besar kandungan Al pada tiap variasi dengan mengalikan tiap variasi dengan selisih berat elektroda perak.

Dari ketiga grafik, konsentrasi Cu lebih besar dari konsentrasi Al pada pH 2, ini disebabkan karena pengaruh pH yang rendah, dimana semakin rendah suatu pH maka akan berpengaruh pada konsentrasi logam berat yang dihasilkan. Karena menurut Ayres (1994), mengungkapkan bahwa meningkatkan pH dapat menurunkan konsentrasi logam berat ketika dilakukan penambahan bahan kimia pada air limbah yang mengandung logam berat, logam berat akan bereaksi dengan ion hidroksida sehingga membentuk padatan logam hidroksida.

Untuk mengetahui kandungan aluminium terbesar dari dua variasi tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- pH 2 100 mA = $88,54\% \times \Delta \text{ Berat elektroda perak}$
 = $88,54\% \times 0,0203 \text{ g}$
 = $0,017975 \text{ g}$
- pH 3 100 mA = $88,54\% \times \Delta \text{ Berat elektroda perak}$
 = $88,54\% \times 1,2636 \text{ g}$
 = $1,11885 \text{ g}$
- pH 4 100 mA = $96,21\% \times \Delta \text{ Berat elektroda perak}$
 = $96,21\% \times 0,7924 \text{ g}$
 = $0,762397 \text{ g}$
- pH 2 200 mA = $70,49\% \times \Delta \text{ Berat elektroda perak}$
 = $70,49\% \times 0,0491 \text{ g}$
 = $0,03461 \text{ g}$

- pH 3 200 mA = 94,94% x Δ Berat elektroda perak
= 94,94% x 1,0649 g
= 1,0110 g
- pH 4 200 mA = 95,97% x Δ Berat elektroda perak
= 95,97% x 1,2979 g
= 1,2456 g
- pH 2 300 mA = 64,60% x Δ Berat elektroda perak
= 64,60% x 0,9246 g
= 0,59727 g
- pH 3 300 mA = 96,86% x Δ Berat elektroda perak
= 96,86% x 2,6112 g
= 2,529180 g
- pH 4 300 mA = 96,95% x Δ Berat elektroda perak
= 96,95% x 2,2390 g
= 2,258071 g

Pada perhitungan diatas, berat aluminium terbesar pada pH 3 300 mA dengan persentase kandungan aluminium sebesar 96,86%.

4.3 Konsumsi Energi Spesifik

Perhitungan energi spesifik dilakukan dengan sebuah model teoritis yaitu *Instantaneous Current Efficiency* (ICE) untuk mengetahui efisiensi kuat arus optimum dalam mereduksi aluminium pada katoda perak. Rumus Konsumsi energi spesifik yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$ICE = \frac{3 \times F \times V \times [(Al_0 - Al_{10})]}{I \times \Delta t}$$

Dimana Al_0 dan Al_{10} adalah Al pada waktu t_0 dan t_{10} masing-masing dalam mol/L, I adalah kuat arus (A), F adalah konstanta Faraday (96.500 C/mol), dan V adalah volume elektrolit (L). Nilai maksimum ICE = 1 yaitu 100%.

Tabel 4. 3 Konsumsi Energi Spesifik

Percobaan	Berat Al_0 (mol/L)	Berat Al_{10} (mol/L)	ICE	ICE
pH 2 100 mA	0,001096	0,001196	0,008092	0,8%
pH 3 100 mA	0,024491	0,027899	0,274087	27,4%

Percobaan	Berat Al_0 (mol/L)	Berat Al_{10} (mol/L)	ICE	ICE
pH 4 100 mA	0,009515	0,013434	0,315157	31,5%
pH 2 300 mA	0,009490	0,001111	0,224610	22,5%
pH 3 300 mA	0,029058	0,027614	0,038699	3,9%
pH 4 300 mA	0,008452	0,015112	0,178518	17,9%
pH 2 200 mA	0,014244	0,012330	0,076959	8%
pH 3 200 mA	0,033554	0,026705	0,275387	28%
pH 4 200 mA	0,058138	0,054242	0,156652	16%

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa konsumsi energi yang paling besar dalam mereduksi aluminium. Pengukuran berat elektroda dilakukan sebelum proses elektrolisis dan setelah proses elektrolisis. Berikut ini data berat elektroda karbon dan perak disajikan pada Tabel 4.5. pada katoda perak adalah pada variasi pH 4 100 mA dengan nilai ICE sebesar 31,5%.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian *recovery* aluminium dengan metode asidifikasi dan elektrolisis yaitu:

1. Lumpur alum PDAM Surabaya Unit *drain clearator* memiliki karakteristik lumpur basah yaitu dengan kadar air 99,08%, alkalinitas 70,83 mg L⁻¹ HCO₃; pH 7,47; BOD₅ 1082,47 mg O₂ L⁻¹; COD 9666,67 mg O₂ L⁻¹; *volatile solid* 1733,23 mg L⁻¹; *total dissolved solid* 352,76 mg L⁻¹; *sludge volume index* 114,18 mg L⁻¹. Untuk logam-logam yang terkandung dalam lumpur alum kering yaitu Al 126.100 mg kg⁻¹; Fe 55.400 mg kg⁻¹; Cu 59 mg kg⁻¹; Cr 23 mg kg⁻¹; dan Si 205.600 mg kg⁻¹.
2. pH optimum untuk penyisihan senyawa aluminium dari persentase komposisi logam aluminium adalah pada pH 3.
3. Nilai kuat arus optimum pengoperasian elektrolisis berdasarkan persentase komposisi logam aluminium adalah 300 mA.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam *recovery* aluminium dengan metode asidifikasi dan elektrolisis yaitu:

1. Untuk menghilangkan kandungan organik sebelum dilakukan proses asidifikasi, lumpur kering alum di *furnace* terlebih dahulu selama satu jam. Ini bertujuan agar pada proses elektrolisis aluminium yang ingin didapatkan lebih banyak daripada logam-logam impuritis.
2. Untuk mendapatkan jumlah aluminium yang cukup banyak menempel pada katoda perak, dapat dilakukan dengan memperbesar ukuran katoda perak yang akan digunakan pada proses elektrolisis.
3. Untuk meningkatkan kemurnian Aluminium yang didapatkan, perlu dilakukan pengaturan pH yang lebih spesifik dengan menentukan rentang pH yang akan digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.A. 2011. *Analisa Pengaruh Besar Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Krom Pada Pelat Baja dengan Proses Elektroplating*. Skripsi Jurusan Mesin. Universitas Hasanudin. Makasar.
- Ali, E. dan Yaakob, Z. (2012). Electrocoagulation for Treatment of Industrial Effluents and Hydrogen Production. *Jurnal Universitas Sumatera Utara*, 4, 227-242.
- Amokrane, A., Comel, C., dan Veron, J. (1997). Landfill Leachates Pretreatment by Coagulation-flocculation. *Water Research*, 31 (11), 297–336.
- Anglada, A., Urtiaga, A., dan Ortiz, I. (2009). Contributions of Electrochemical Oxidation to Waste-water Treatment: Fundamentals and Review of Applications. *Society of Chemical Industry*, 84, 1747-1755.
- Anglada, A., Urtiaga, A., Ortiz, I., dan Mantzavinos, D. (2011). Boron-doped Diamond Anodic Treatment of Landfill Leachate: Evaluation of Operating Variables and Formation of Oxidation By-products. *Water Research*, 45, 828-838.
- APHA, AWWA, WPCF. 2012. *Standard Methods For The Examination of Water & Wastewater*, 22nd Edition. Washington DC: APHA, AWWA, WPCF.
- Artadi, A. (2007). Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi. *Jurnal Fisika Nasional*, 2, 1-10.
- Az-Zahra, S., Rachmawati, S.D.J., dan Wardhani, E. (2014). Karakteristik Kualitas Air Baku & Lumpur sebagai Dasar Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Institut Teknologi Nasional*, 2 (2), 1-10.
- Babatunde, A.O. dan Zhao, Y.Q. (2007). Constructive Approaches Towards Water Treatment Works Sludge Management : an International Review of Beneficial Re-uses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37 (2), 129-164.

- Basuki, K. dan Sudibyo. (2009). *Pengaruh pH dan Tegangan pada Pembuatan Serbuk Itrium dari Konsentrat Itrium Hasil Proses Pasir Senotim dengan Elektrolisis*. Seminar Nasional V, 2, 543-547.
- Boaventura, A.R., Duarte, A.S., dan Almeida, M.F. 2000. *Alumunium Recovery From Water Treatment Sludge. International Conference Water Supply and Water Quality*.
- Budi, F.S. dan Suherman. 2005. *Recovery Alumina dari Lumpur Alum Limbah PDAM menjadi Tawas Cair*. Laporan Penelitian Universitas Diponegoro.
- Cahyono, H.B. dan Ariani, N.M. (2014). Reduksi Tembaga dalam Limbah Cair Proses Etching Printing Circuit Board (PCB) dengan Proses Elektrokimia. *Jurnal Riset Industri*, 8, 21-27.
- Cundari, L., Supriyatna, E., dan Samhudi, H. (2016). Pengaruh Waktu Kontak dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Recovery Aluminium pada Asidifikasi Sludge Keluaran Water Treatment. *Jurnal Teknik Kimia*, 22 (2), 22-31.
- Dassanayake, K.B., Jayasinghe, G.H., dan Hetherington, C. (2015). A Review on Alum Sludge Reuse with Special Reference to Agricultural Applications and Future Challenges. *Waste Management Journal*, 38, 321-335.
- Deng, Y. dan Englehardt, J. (2007). Electrochemical Oxidation for Landfill Leachate Treatment. *Waste Management*, 27, 380-388.
- Durfor, C.J. dan Becker, E. 1972. *Constituents and properties of water. In: Water quality in a stressed environment: readings in environmental hydrology*. W.A. Pettyjohn (ed.). Burgess Publishing Company, Minneapolis, MN.
- Elicker, C., Filho, P.J.S., dan Castagno, K.R.L. (2014). Electoremediation of Heavy Metals in Sewage Sludge. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31 (02), 365-371.
- El-Sattar, A.A., El-Shayeb, M., dan Dief, H.A. (2004). Silver Recovery from Photographic and X-ray Films and Fixer Solution Waste Using a Packed Ped Reactor. *Alexandria Engineering Journal*, 43 (3), 393- 399.

- Fitri, H. 2010. *Dampak Pembuangan Lumpur Perusahaan Daerah Air Minum Kota Pontianak Terhadap Kualitas Air Sungai Kapuas*. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.
- Georgantas, D.A. dan Grigoropoulou, H.P., (2005). Phosphorus Removal from Synthetic dan Municipal Wastewater using Spent Alum Sludge. *Water Science & Technology*, 52, 525-532.
- Goldman, M.L dan Watson, F. 1975. *Feasibility of Alum Sludge Reclamation*. Washington Technical Institute. Washington D.C. Final Report Project No. A-001-DC.
- Hanim, A., Azam, M., Hidayanto, E., dan Nuraini, E. (2007). Penentuan Kandungan Unsur Aluminium, Mangan, dan Silikon dalam Air Sungai Code terhadap Waktu Sampling dengan Metode AANC. *Berkala Fisika*, 10 (1), 25-30.
- Harris, P.J.F. (2015). New Perspectives on the Structure of Graphitic Carbons. *Crit.,Rev. Solid State Mater. Sci*, 30, 235–253.
- Helmenstine, A.M. (2001). Removal Capacity of Water Plant Alum Sludge for Phosphorus in Aqueous Solution . *Chem.Spec.Bioavailab*, 14, 67-73.
- Huang, C., Xu, T., Zhang, Y., Xue, Y., dan Chen, G. (2007). Application of Electrodialysis to The Production of Organic Acids: State-of-the-art and Recent Developments. *Journal of Membrane Science*, 288, 1-12.
- Huitle, M. dan Ferro, S. (2006). Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: direct and indirect processes. *Chem. Soc. Rev*, 35, 1324–1340.
- Jumiati, Sampurno, J., dan Faryuni, I.D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrolisis untuk Menghasilkan Gas Brown. *Porison*, 3 (1), 06-11.
- Khandegar, V. dan Saroha, A.K. (2012). Electrocoagulation for the Treatment of Textile Industry Effluent –A Review. *Journal of Environmental Management*, 128, 949-963.
- Kurniawan, T.W. 2009. *Efektivitas Campuran Aluminium Hasil Perolehan Kembali dari Lumpur Padat Pengoalahan Air dengan Besi (III) Klorida sebagai Koagulan*. (skripsi).

- Liu, C. dan Huang, P.M. 1999. Atomic Force Microscopy of pH, Ionic Strength and Cadmium Effects on Surface Features of Humic Acid, In : Understanding Humic Substances. Advanced Methods, Properties and Applications. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A., dan Pinto, A. (2004). Fenton's Pretreatment of Mature Landfill Leachate. *Chemosphere*, 54 (7), 1000–1005.
- Metcalf dan Eddy. 2004. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse., Fourth Edition*. New York.
- Moerdiyanti, M., Zahara, T.A., dan Jati, D.R. 2014. Penggunaan Tawas Cair Recovery dari Limbah Padat Lumpur PDAM Kota Pontianak sebagai Koagulan untuk Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura Pontianak*.
- Muhammad, Y.F. 2010. *Unsur Hara Makro dan Mikro*. Jakarta: Erlangga.
- Munawarti, N. D., Permatasari, D., Wulandari, R., Wari, W. S., Aini, Z., dan Wardhani, S. 2015. Sintesis Aluminium Hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dari Limbah Anodisasi Pelapisan Logam Aluminium kajian pH. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*.
- Nurchahyo, W., Sumantri, I., dan Kurnisari, L. (2014). Pembuatan Aluminium Sulfat dari Clay. *Momentum*, 10 (1), 29-33.
- Nurajijah, L., Harjunowibowo, D., dan Radiyono, Y. (2014). Pengaruh Variasi Tegangan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Proses Elektrolisis. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*, 4 (1), 31-35.
- Noriko, N., Elfidasari, D., Perdana, A.T., Wulandari, N., dan Wijayanti W. (2012). Analisis Penggunaan dan Syarat Mutu Minyak Goreng Makanan di Food Court UAI. *Jurnal Al-Azhar Seri Sains dan Teknologi*, 1 (3), 147-154.
- Panswad, T. dan Chamnan, P. (2000). Aluminum recovery from industrial aluminum sludge. *Water Supply*, 10 (4), 159-167.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82. 2001. Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

- Petrucchi, Ralph, H., dan Achmadi, S. 1987. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern*. Erlangga: Jakarta.
- Primadipta, I.W. dan Titah, H.S. (2017). Bioremediasi Lumpur Alum menggunakan *Aspergillus niger* dengan Penambahan Serbuk Gergaji sebagai *Bulking Agent*. *Jurnal Teknis ITS*, 6 (1), 34-41.
- Purnamasari, S.W., Harmami, dan Suprpto. (2013). Recovery Tembaga dari Batuan Mineral dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2 (1), 25-32.
- Putero, A.H. 2008. Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Pengolahan Limbah Radioaktif yang Mengandung Sr-90 Menggunakan Metode Elektrolisis. *Dalam Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 – 2910 Bandung*.
- Qasim, S.R, Motley, E.M., dan Zhu, G. 2000. *Water Works Engineering: planning, design, and operation*. Upper Saddle River, NJ: *Prentice Hall*.
- Rahmawati, Z.S. 2010. *Analisis Pengaruh Sr dan Ti Terhadap Ketahanan Korosi Paduan AC4B*. Departemen Material Metalurgi Universitas Indonesia.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Rahmawati, A. (2011). Pengaruh Derajat Keasaman Terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (II) dan Timbal (II) pada Asam Humat. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*, 12 (1), 1-14.
- Santos, S., Rocha O., dan Povinelli, J. (2005). Evaluation of water treatment sludges toxicity using the *Daphnia* bioassay, *Water Research*, 39, 3909–3917.
- Santriya, D.D., Hayati, R., dan Apriani I.I. (2013). *Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak*. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.
- Selintung, M. dan Azikin. (2012). Penanganan Lumpur Instalasi Pengolahan Air Somba Opu. *Science & Tecnology, Universitas Hasanuddin*, 5 (2), 1-11.

- Sengupta, A.K., Bethlehem, M., dan Prakash, P. 2002. Process For Selective Coagulant Recovery From Water Treatment Plant Sludge. *United States Patent*.
- Setianingrum, N.P., Prasetya, A., dan Sarto. 2016. Pengaruh Tegangan dan Jarak Antar Elektroda terhadap warna *Remazol Red RB* dengan Metode Elektrokoagulasi. *Inovasi Teknik Kimia*, 1 (2), 93-97.
- Setiawan, H. (2014). Pengaruh Chiller Pendinginan pada Kekerasan Produk Cor Propeler Aluminium. *Jurnal Simetris*, 5 (2), 1-9.
- Singh, T.S., Parikh, B., dan Pant, K. (2004). Investigation on the Sorption of Aluminium in Drinking Water by Low-cost Adsorbents. *Departement of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology*, 2 (1), 22-35.
- Skoog, D.A., West, D.M., dan Holler, F.J. 1993. *Principle of Instrumental Analysis. 6th edition*. Saunders Collage Pub: Philadelphia.
- Supratno. 2011. *Pemisahan Perak dari Limbah Fixer dengan cara Elektrolisis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor Thesis.
- Syafana, Y. 2004. *Elektrolisis Larutan Perak Diamina dengan Variasi Kuat arus*. Tugas Akhir. Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro Semarang.
- Theivasanthi, T. dan Alagar, M. (2012). Electrolytic Synthesis and Characterizations of Silver Nanopowder. *Nano Biomed. Eng*, 3, 161.
- Topayung, D. (2011). Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Electroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11 (1), 97-101.
- Trihadiningrum, Y. 2016. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Teknosain: Yogyakarta.
- US-EPA. 1997. *Best Management Practices: Handbook for Hazardous Waste Containers*. US-EPA Region 6, Dallas, Texas.
- Yi, Y.J., Tornow, E., Willinger, M.G., Willinger, C., dan Ranjan, R. (2015). Electrochemical Degradation of Multiwall Carbon

- Nanotubes at High Anodic Potential for Oxygen Evolution in Acidic Media. *ChemElectroChem*, 2, 1929–1937.
- Yulianti, D. 2016. *Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung (skripsi).
- Widayatno, T., Hamid, Swasemba, I.A. dan Zufron, M.K. (2015). Karakterisasi Elektrokimia Larutan Elektrolit Rendah Sianida untuk Elektroplating Perak Dekoratif Ramah Lingkungan. *Simposium Nasional RAPI XVI*.
- Widayatno, T., Gupita, L.T., Imaswati, S., dan Novitasari, P. (2016). *Recovery Logam Perak dari Limbah Cair Bekas Pencucian Foto Rontgen: Karakterisasi Elektrokimia*. *Simposium Nasional RAPI XV*.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

A. Analisis Kadar Air

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum hasil *dewatering* PDAM Surabaya
2. Cawan porselen

Prosedur Kerja Analisis:

1. Cawan porselen dimasukkan dalam oven suhu 105°C selama 1 jam
2. Cawan porselen dimasukkan dalam desikator selama 15 menit
3. Sampling lumpur alum dimasukkan dalam cawan porselen dan ditimbang dengan neraca analitis (A)
4. Sampling lumpur alum dimasukkan dalam cawan porselen dan dioven selama 24 jam
5. Lumpur kering didesikator selama 15 menit
6. Lumpur alum dan cawan ditimbang dengan neraca analitis (B)
7. Perhitungan % kadar air dengan rumus :
$$\frac{A-B}{A} \times 100\%$$
8. Lumpur alum disimpan

B. Pengukuran pH

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum kering
2. Aquades
3. pH meter

Prosedur Kerja Analisis:

1. Lumpur alum kering dicampur dengan aquades secukupnya.
2. Diaduk dengan *magnetic stirer*
3. pH meter dibersihkan dengan aquades dan dikeringkan.
4. pH meter dicelupkan kedalam sampel .
5. Pembacaan angka pH secara digital

C. Analisis *Volatile Solid*

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum yang telah dikeringkan
2. Cawan porselen

Prosedur Kerja Analisis:

1. Lumpur alum yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam furnace suhu 550°C selama 1 jam
2. Residu dan cawan porselain dioven suhu 105°C selama 15 menit
3. Residu dan cawan porselain didesikator selama 15 menit
4. Timbang dengan neraca analitis (C)
5. Hitung kadar *volatile solids* dengan persamaan :

$$\frac{B-C}{C} \times 100\%$$

D. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan:

1. Tabung COD
2. Rak COD
3. Erlenmeyer 100 mL
4. Pipet 10 mL dan 5 mL
5. Kompor listrik
6. Pipet tetes 1 buah
7. Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,25 N
8. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
9. Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
10. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N
11. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroiin)

Prosedur Kerja Analisis:

1. Memasukkan $K_2Cr_2O_7$ ke dalam tabung COD masing-masing sebanyak 1,5 mL, dan 1 tabung COD digunakan sebagai blanko.
2. Memasukkan Ag_2SO_4 pada masing-masing tabung COD dan blanko sebanyak 2,5 mL.

3. Memasukkan sampel yaitu lumpur basah dan lumpur kering masing-masing 1 mL, dan memasukkan 1 mL aquades ke dalam blanko.
4. Setelah itu ditutup dan dikocok hingga homogen.
5. Menyalakan kompor listrik dan meletakkan tabung COD pada rak besi COD. Memanaskan selama 2 jam.
6. Setelah 2 jam, kompor listrik dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
7. Sebelum dipindahkan ke erlenmeyer 100 mL, sampel dalam tabung COD dikocok terlebih dahulu dan dibilas dengan aquades.
8. Menambahkan indikator ferroin sebanyak 4 tetes.
9. Melakukan titrasi menggunakan standart FAS 0,1 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat permanen.
10. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL sampel}} \times P$$

Keterangan :

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

M = molaritas larutan FAS

P = pengenceran

E. Analisis Total Solids (TS)

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM Surabaya
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan dimasukkan furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan ditimbang dengan neraca analitis (a mg).
4. Lumpur alum basah sebanyak 25 mL ke dalam cawan yang telah ditimbang (c mL)
5. Lumpur alum dikering dalam oven 105°C selama 24 jam.
6. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit.

7. Timbang dengan neraca analitis selama (b mg).
8. Hitung jumlah zat padat total dengan rumus :

$$\text{Zat padat total (mg/L)} = \frac{(b-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$
 - a = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C
 - b = cawan hasil residu setelah dioven 105°C
 - c = volume sampel (mL)

F. Analisis *Total Volatile Solid (TVS)* dan *Total Fixed Solid (TFS)*

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM Surabaya
2. Cawan Porselen

Prosedur Analisis:

1. Cawan hasil residu dari analisis zat padat total dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan ditimbang dengan neraca analitis (d mg).
4. Hitung jumlah zat padat total organik dan inorganik sebagai berikut:

$$\text{Zat padat organik (mg/L)} = \frac{(b-d) \times 1000 \times 1000}{c}$$

$$\text{Zat padat inorganik (mg/L)} = \frac{(d-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$

c = berat cawan dan residu setelah pembakaran 550°C

G. Analisis *Total Suspended Solids (TSS)*

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM Surabaya
2. Cawan Porselen

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselain dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Kertas saring dikeringkan dengan suhu 105°C dan didesikator selama 15 menit

3. Cawan dan kertas saring ditimbang dengan neraca analitis (e mg)
 4. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter
 5. Tuangkan 25 mL sampel lumpur alum unit *clearator* pada kertas saring yang dipasang pada vacuum filter. Filtrat yang melewati kertas saring diukur volumenya (g mL).
 6. Saring sampel lumpur alum hingga kering atau airnya habis.
 7. Kertas saring dan cawan porselain dikeringkan dalam oven 105°C selama 1 jam.
 8. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
 9. Timbang dengan neraca analitis (f mg)
 10. Hitung jumlah zat padat tersuspensi
- $$\text{Zat padat total tersuspensi (mg/L)} = \frac{(f-e) \times 1000 \times 1000}{g}$$

e = Cawan dan kertas saring ditimbang dengan neraca analitis

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel (mL)

H. Analisis *Total Dissolved Solids* (TDS)

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM Surabaya
2. Cawan Porselen

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselain dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Timbang cawan dengan neraca analitis (i mg)
3. Filtrat hasil analisis zat padat tersuspensi (j mL) dituangkan dalam cawan porselain
4. Cawan dan filtrat dikeringkan dengan suhu 105°C selama 24 jam.
5. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit. mbang dengan neraca analitis (k mg).

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(k-i) \times 1000 \times 1000}{j}$$

I. Analisis *Sludge Volume Index* (SVI)

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator* PDAM Surabaya
2. Imhoff cone

Prosedur Analisis:

1. Lumpur alum sebanyak 1 L dituangkan ke dalam *imhoff cone*
2. Diendapkan selama 30 menit
3. Hitung nilai SVI dengan persamaan :

$$\text{SVI (mL/g)} = \frac{\text{volume sludge 30 menit } (\frac{\text{mL}}{\text{L}})}{\text{TSS } (\frac{\text{mg}}{\text{L}})} \times 1000$$

J. Proses Asidifikasi

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum kering yang telah dikeringkan
2. Aquades
3. Asam sulfat pekat
4. *Magnetic stirrer*
5. *Beaker glass* 1 L
6. Pipet ukur
7. Propipet
8. pH meter

Prosedur Analisis:

1. Lumpur alum kering sebanyak 200 g dilarutkan dengan aquades hingga 1 L
2. Pengukuran pH awal dengan pH meter
3. Perhitungan volume asam sulfat pekat untuk pH 2, 3 dan 4

$$\text{N total} = \frac{(V1 \times N1) + (V2 \times N2)}{(V1 + V2)}$$

4. Proses homogenisasi dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam kecepatan 300 rpm
5. Sentrifugasi selama 20 menit kecepatan 3000 rpm
6. Penyaringan supernatan dengan menggunakan kertas saring 10 μm

LAMPIRAN B DATA HASIL PERHITUNGAN

**Tabel LB.1 Hasil Karakterisasi Lumpur Alum PDAM Surabaya
Unit *drain clearator***

Parameter	Konsentrasi		Standar Deviasi		Satuan
	Lumpur Kering	Lumpur Basah	Lumpur Kering	Lumpur Basah	
Kadar air	-	99,11	-	0,69	%
	-	98,37			
	-	99,75			
Rata-rata		99,08			
Alkalinitas	50	62,5	7,22	7,22	lumpur kering (mg/kg HCO ₃) lumpur basah (mg/L HCO ₃)
	50,0	75,0			
	37,5	75,0			
Rata-rata	4981,88	70,83			
pH	7,79	7,47	0,085	0,01	-
	7,87	7,46			
	7,96	7,47			
Rata-rata	7,87	7,47			
BOD ₅	999,2	1186,55	295,127	130	lumpur kering (mg/kg) lumpur basah (mg/L)
	874,3	936,75			
	437,15	1124,1			
Rata-rata	83719,20	1082,47			
COD	7000	11000	2000	1154,7	lumpur kering (mg/kg) lumpur basah (mg/L)
	9000	9000			
	5000	9000			
Rata-rata	760869,57	9666,67			

Parameter	Konsentrasi		Standar Deviasi		Satuan
	Lumpur Kering	Lumpur Basah	Lumpur Kering	Lumpur Basah	
Total Solid (TS)	-	12330	-	322,54	mg/L
	-	12816,7			
	-	12940			
Rata-rata		12695,57			
Total Volatil Solid (TVS)	-	1706,7	-	40,62	mg/L
	-	1780			
	-	1713			
Rata-rata		1733,23			
Total Suspended Solid (TSS)	-	12300	-	288,69	mg/L
	-	12393			
	-	12840			
Rata-rata		12511,00			
Total Dissolved Solid (TDS)	-	346,429	-	15,45	mg/L
	-	370,370			
	-	341,481			
Rata-rata		352,76			
Total Fixed Solid (TFS)	-	10.623,33	-	308,19	mg/L
	-	11.036,66			
	-	11.226,00			
Rata-rata		10962,00			
Sludge Volume Index (SVI)	-	100,80	-	19,72	mg/L
	-	136,80			
	-	104,85			
Rata-rata		114,15			
AI	-	126.100	-	-	mg/L

Parameter	Konsentrasi		Standar Deviasi		Satuan
	Lumpur Kering	Lumpur Basah	Lumpur Kering	Lumpur Basah	
Fe	-	55.400	-	-	mg/L
Cr	-	23.000	-	-	mg/L
Cu	-	59.000	-	-	mg/L
Si	-	205.600	-	-	mg/L

Tabel LB.2 Hasil Analisis ICP

Parameter	pH2	pH3	pH4	pH5
Pb	1.258	1.09	2.104	0.758
Cr	0.68	0.092	0.036	0.054
Cu	1.374	0.14	0.156	0.032
Fe	196.656	26.65	198.288	7.714
Al	3683	309.22	287.6	9.4218

Tabel LB.3 Tabel Uji Polarisasi Rentang 0-500 mA

Titik Sampling	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
Titik1	0	0		
Titik2	0,2	0		
Titik3	0,4	0		
Titik4	0,6	0		
Titik5	0,8	0		
Titik6	1	0		
Titik7	1,2	0		
Titik8	1,4	0		
Titik9	1,6	9		

Titik Sampling	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
Titik10	1,8	15	2,53	4,54
Titik11	2	24	2,57	4,3
Titik12	2,2	38	2,65	4,2
Titik13	2,4	47	2,71	4,18
Titik14	2,6	61	2,71	3,89
Titik15	2,8	77	2,83	3,61
Titik16	3	79	2,84	3,6
Titik17	3,2	96		
Titik18	3,4	105		
Titik19	3,6	119		
Titik20	3,8	136	2,84	3,5
Titik21	4	163		
Titik22	4,2	197		
Titik23	4,4	236		
Titik24	4,6	253		
Titik25	4,8	277	2,99	3,24
Titik26	5	300		
Titik27	5,2	318		
Titik28	5,4	328		
Titik29	5,6	330		
Titik30	5,8	320	3,03	1,56

Tabel LB.4 Tabel Uji Polarisasi Rentang 500-1000 mA

Titik Sampling	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
Titik1	6	454		
Titik2	6,2	491		

Titik Sampling	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
Titik3	6,4	525		
Titik4	6,6	573		
Titik5	6,8	608		
Titik6	7	628		
Titik7	7,2	661		
Titik8	7,4	680		
Titik9	7,6	733		
Titik10	7,8	759	2,53	4,54
Titik11	8	782	2,57	4,3
Titik12	8,2	814	2,65	4,2
Titik13	8,4	841	2,71	4,18
Titik14	8,6	879	2,71	3,89
Titik15	8,8	908	2,83	3,61
Titik16	9	933	2,84	3,6
Titik17	9,2	962		

Tabel LB.5 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 3 100 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	100	3.6	0	3.33	3.05	6.8
1	100	3.6	0.1	3.53	3.02	6.95
2	100	3.6	0.2	3.48	2.88	7.06
3	100	3.6	0.3	3.44	2.92	7.01
4	100	3.6	0.4	3.52	2.90	7.02
5	100	3.6	0.5	3.50	2.84	7.00

6	100	3.6	0.6	3.52	2.84	7.13
7	100	3.6	0.7	3.47	2.76	7.19
8	100	3.6	0.8	3.51	2.76	7.15
9	100	3.6	0.9	3.56	2.60	7.25
10	100	3.6	1	2.67	2.74	5.35

Tabel LB.6 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 3 300 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	300	5.2	0	3.53	3.20	7.01
1	300	5.2	0.3	3.49	3.00	7.02
2	300	5.2	0.6	3.55	2.91	7.18
3	300	5.1	0.9	3.6	2.82	7.32
4	300	5.1	1.2	3.65	2.77	7.34
5	300	5.1	1.5	3.71	2.74	7.46
6	300	5.1	1.8	3.77	2.71	7.57
7	300	5.1	2.1	3.81	2.65	7.7
8	300	5.3	2.4	3.90	2.57	7.82
9	300	5.3	2.7	3.95	2.52	7.93
10	300	5.3	3	3.97	2.47	8.01

Tabel LB.7 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 4 300 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	300	4.9	0.000	4.58	3.98	9.15

1	300	4.7	0.300	4.57	3.98	9.13
2	300	4.7	0.609	4.65	3.98	9.13
3	300	4.6	0.928	4.59	3.94	9.19
4	300	4.6	1.257	4.6	3.97	9.19
5	300	4.5	1.596	4.59	3.87	9.17
6	300	4.5	1.946	4.67	3.87	9.13
7	300	4.5	2.308	4.62	3.83	9.07
8	300	4.5	2.682	4.61	3.86	9.01
9	300	4.5	3.068	4.63	3.84	9.08
10	300	4.5	3.468	4.65	3.87	9.09

Tabel LB.8 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 4 100 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	100	4.1	0.000	1.782	4.01	3.62
1	100	4.3	0.100	1.81	3.82	3.66
2	100	4.3	0.203	1.842	3.66	3.65
3	100	4.3	0.309	1.871	3.48	3.78
4	100	4.2	0.419	1.888	3.39	3.70
5	100	4.2	0.532	1.896	3.31	3.79
6	100	4.2	0.649	1.915	3.22	3.78
7	100	4.2	0.769	1.939	3.14	3.83
8	100	4.2	0.894	1.941	3.00	3.88
9	100	4.2	1.023	1.954	3.00	3.90
10	100	4.2	1.156	1.949	3.00	3.89

Tabel LB.9 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 2 300 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	300	5.7	0	3.36	2.11	6.67
1	300	5.8	0.3	3.26	2.19	6.46
2	300	5.8	0.609137056	3.34	2.14	6.67
3	300	5.8	0.927835052	3.29	2.14	6.54
4	300	5.8	1.256544503	3.32	2.13	6.53
5	300	5.8	1.595744681	3.29	2.11	6.47
6	300	5.9	1.945945946	3.38	2.12	6.66
7	300	5.9	2.307692308	3.45	2.11	6.74
8	300	6.0	2.681564246	3.53	2.05	6.93
9	300	6.0	3.068181818	3.53	2.16	6.91
10	300	6.1	3.468208092	3.46	2.06	6.93

Tabel LB.10 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 2 100 mA

Waktu (jam)	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	100	2.8	0.000	4.20	2.17	8.37
1	100	2.9	0.100	4.05	2.22	8.27
2	100	2.9	0.203	4.22	2.18	8.45
3	100	2.9	0.309	4.31	2.19	8.55
4	100	3.0	0.419	4.38	2.18	8.59
5	100	3.0	0.532	4.40	2.15	8.64
6	100	3.0	0.649	4.37	2.13	8.55

7	100	3.0	0.769	4.41	2.1	8.63
8	100	3.0	0.894	4.33	2.13	8.53
9	100	3.0	1.023	4.48	2.14	8.74
10	100	3.1	1.156	4.40	2.12	8.67

Tabel LB.11 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 2 200 mA

Waktu	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	200	4.3	0.000	4.01	2.03	8.00
1	200	4.3	0.200	4.17	2.05	8.30
2	200	4.0	0.404	3.91	2.04	7.71
3	200	4.0	0.612	3.91	2.04	7.72
4	200	3.9	0.825	3.87	2.05	7.64
5	200	3.9	1.042	3.92	2.03	7.72
6	200	3.9	1.263	3.86	2.03	7.61
7	200	3.8	1.489	3.94	2.03	7.74
8	200	4.0	1.720	3.93	2.02	7.73
9	200	4.0	1.957	3.85	2.02	7.65
10	200	4.0	2.247	3.94	2.01	7.75
Rata-rata		4.009091				

Tabel LB.12 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 3 200 mA

Waktu	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	200	6.05	0.000	2.12	3.07	4.37
1	200	6.05	0.200	2.16	3.01	4.28
2	200	6.0	0.404	2.22	2.95	4.35
3	200	5.9	0.612	2.25	2.90	4.39
4	200	5.9	0.825	2.28	2.83	4.47
5	200	5.9	1.042	2.26	2.77	4.47
6	200	5.95	1.263	2.36	2.74	4.62
7	200	5.9	1.489	2.37	2.73	4.61
8	200	6.1	1.720	2.37	2.63	4.7
9	200	6.0	1.957	2.39	2.60	4.7
10	200	6.0	2.247	2.44	2.52	4.81
Rata-rata		5.977273				

Tabel LB.13 Pencatatan Arus, Tegangan Listrik, pH, TDS, dan DHL pH 4 200 mA

Waktu	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
0	200	6.0	0.000	2.11	4.09	4.2
1	200	6.1	0.200	1.868	3.74	3.72
2	200	6.1	0.404	1.876	3.59	3.75
3	200	6.1	0.612	1.887	3.35	3.77
4	200	6.0	0.825	1.857	3.44	3.71
5	200	6.0	1.042	1.936	3.12	3.87

Waktu	Kuat Arus (mA)	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	TDS (g/L)	pH	DHL (mS/cm)
6	200	6.0	1.263	1.961	3.05	3.92
7	200	6.1	1.489	2.06	2.95	4.02
8	200	6.1	1.720	2.12	2.88	4.14
9	200	6.2	1.957	2.18	2.77	4.28
10	200	6.2	2.222	2.25	2.65	4.43
Rata-rata		6.081818				

Tabel LB.14 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 2 100 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t0	2000	0.000	2	1.000	19.9874	22.1575
t1	1800	0.100	1.773	0.887		
t2	1800	0.203	1.746	0.873		
t3	1800	0.309	1.719	0.860		
t4	1800	0.419	1.692	0.846		
t5	1800	0.532	1.665	0.833		
t6	2000	0.649	1.82	0.910		
t7	2400	0.769	2.148	1.074		
t8	2200	0.894	1.936	0.968		
t9	2400	1.023	2.076	1.038		
t10	2800	1.156	2.38	1.190	20.5539	22.1778

Tabel LB.15 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 4 100 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t ₀	2400	0.000	2.4	1.000	19.828	22.6193
t ₁	2400	0.100	2.364	0.985		
t ₂	2800	0.203	2.716	1.132		
t ₃	3600	0.309	3.438	1.433		
t ₄	4800	0.419	4.512	1.880		
t ₅	1600	0.532	1.48	0.617		
t ₆	3600	0.649	3.276	1.365		
t ₇	3600	0.769	3.222	1.343		
t ₈	3200	0.894	2.816	1.173		
t ₉	3600	1.023	3.114	1.298		
t ₁₀	4000	1.156	3.4	1.417	20.3026	23.4117

Tabel LB.16 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 2 300 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t ₀	3600	0.000	3.6	1.000	21.2991	22.1263
t ₁	800	0.300	0.788	0.219		
t ₂	2000	0.609	1.94	0.539		
t ₃	3800	0.928	3.629	1.008		
t ₄	3600	1.257	3.384	0.940		
t ₅	2000	1.596	1.85	0.514		
t ₆	1800	1.946	1.638	0.455		

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t7	1600	2.308	1.432	0.398		
t8	2000	2.682	1.76	0.489		
t9	2400	3.068	2.076	0.577		
t10	3200	3.468	2.72	0.756	21.776	23.0509

Tabel LB.17 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 4 300 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t0	2800	0.000	2.8	1.000	21.1525	23.9203
t1	1600	0.300	1.576	0.563		
t2	1400	0.609	1.358	0.485		
t3	2000	0.928	1.91	0.682		
t4	2600	1.257	2.444	0.873		
t5	4000	1.596	3.7	1.321		
t6	1200	1.946	1.092	0.390		
t7	800	2.308	0.716	0.256		
t8	1000	2.682	0.88	0.314		
t9	2800	3.068	2.422	0.865		
t10	1600	3.468	1.36	0.486	22.0736	26.2493

Tabel LB.19 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 2 200 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t0	2200	0.000	2.2	1.000	20.7700	21.538
t1	1800	0.300	1.8	0.818		
t2	2800	0.609	2.772	1.260		
t3	3200	0.928	3.136	1.425		
t4	2200	1.257	2.134	0.970		
t5	2000	1.596	1.92	0.873		
t6	2200	1.946	2.09	0.950		
t7	2000	2.308	1.88	0.855		
t8	2800	2.682	2.604	1.184		
t9	1600	3.068	1.472	0.669		
t10	2600	3.468	2.314	1.052	21.5469	21.5871

Tabel LB.20 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 3 200 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t0	5800	0.000	5.8	1.000	16.8557	21.3561
t1	6000	0.200	6	1.034		
t2	6400	0.404	6.336	1.092		
t3	6000	0.612	5.88	1.014		
t4	6000	0.825	5.82	1.003		
t5	6000	1.042	5.76	0.993		
t6	6800	1.263	6.46	1.114		

t7	6200	1.489	5.828	1.005		
t8	6800	1.720	6.324	1.090		
t9	6200	1.957	5.704	0.983		
t10	6400	2.247	5.696	0.982	17.3507	22.421

Tabel LB.21 Pencatatan COD dan Berat Elektroda pH 4 200 mA

Waktu (jam)	COD (mg/L)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	COD (g)	COD/COD ₀ (g)	Berat Anoda Karbon (g)	Berat Katoda Perak (g)
t0	4600	0.000	4.6	0.793	19.6834	21.4505
t1	4800	0.200	4.8	0.828		
t2	4800	0.404	4.752	0.819		
t3	5000	0.612	4.9	0.845		
t4	4800	0.825	4.656	0.803		
t5	5000	1.042	4.8	0.828		
t6	5000	1.263	4.75	0.819		
t7	5000	1.489	4.7	0.810		
t8	5000	1.720	4.65	0.802		
t9	4600	1.957	4.232	0.730		
t10	4400	2.222	3.96	0.683	20.0075	22.7484

Tabel LB.22 Hasil Analisis T0 pH 2 100 mA

Parameter	Unit	T0 pH 2 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.72	4.68	4.55	4.65
Copper (Cu)	mg/L	0.1	0.12	0.10	0.106667
Chrome (Cr)	mg/L	0.91	0.92	0.91	0.913333

Lead (Pb)	mg/L	0.35	0.45	0.30	0.366667
Alumunium (Al)	mg/L	25.60	25.60	24.40	25.2

Tabel LB.23 Hasil Analisis T10 pH 2 100 mA

Parameter	Unit	T10 pH 2 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.12	5.5	4.92	5.18
Copper (Cu)	mg/L	0.06	0.07	0.06	0.063333
Chrome (Cr)	mg/L	0.86	0.87	0.87	0.866667
Lead (Pb)	mg/L	0.40	0.30	0.35	0.35
Alumunium (Al)	mg/L	28.40	28.20	27.20	27.93333

Tabel LB.24 Hasil Analisis Silver pH 2 100 mA

Parameter	Unit	Silver pH 2 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.16	0.15	0.16	0.156667
Copper (Cu)	mg/L	4.18	4.14	4.10	4.14
Chrome (Cr)	mg/L	0.46	0.47	0.48	0.47
Lead (Pb)	mg/L	0.40	0.30	0.25	0.316667
Alumunium (Al)	mg/L	2.15	2.10	2.10	2.116667

Tabel LB.25 Hasil Analisis T0 pH 3 100 mA

Parameter	Unit	T0 pH 3 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	78.46	75.71	78.66	77.61
Copper (Cu)	mg/L	0.73	0.75	0.76	0.746667
Chrome (Cr)	mg/L	0.75	0.73	0.71	0.73

Lead (Pb)	mg/L	0.90	0.10	0.07	0.356667
Alumunium (Al)	mg/L	679.36	380.05	630.47	563.2933

Tabel LB.26 Hasil Analisis T10 pH 3 100 mA

Parameter	Unit	T10 pH 3 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	59.75	53.28	56.95	56.66
Copper (Cu)	mg/L	2.08	1.95	2.08	2.036667
Chrome (Cr)	mg/L	0.05	0.06	0.04	0.05
Lead (Pb)	mg/L	0.80	0.90	1.10	0.933333
Alumunium (Al)	mg/L	658.75	626.75	659.00	648.1667

Tabel LB.27 Hasil Analisis Silver pH 3 100 mA

Parameter	Unit	Silver pH 3 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.18	0.13	0.15	0.153333
Copper (Cu)	mg/L	0.72	0.61	0.69	0.673333
Chrome (Cr)	mg/L	0.83	0.4	0.7	0.643333
Lead (Pb)	mg/L	0.70	0.60	0.5	0.6
Alumunium (Al)	mg/L	17.80	14.20	16.00	16.00

Tabel LB.28 Hasil Analisis T0 pH 4 100 mA

Parameter	Unit	T0 pH 4 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	2.91	2.45	1.82	2.39333
Copper (Cu)	mg/L	0.71	0.73	0.75	0.73
Chrome (Cr)	mg/L	0.94	0.89	0.91	0.91333

Lead (Pb)	mg/L	0.90	0.90	0.10	0.63333
Alumunium (Al)	mg/L	213.04	226.09	217.39	218.84

Tabel LB.29 Hasil Analisis T10 pH 4 100 mA

Parameter	Unit	T10 pH 4 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	21.5	22.14	22.1	21.91333
Copper (Cu)	mg/L	0.55	0.55	0.50	0.533333
Chrome (Cr)	mg/L	0.62	0.64	0.64	0.633333
Lead (Pb)	mg/L	0.30	0.32	0.33	0.316667
Alumunium (Al)	mg/L	311.20	314.50	315.35	313.6833

Tabel LB.30 Hasil Analisis Silver pH 4 100 mA

Parameter	Unit	Silver pH 4 100 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.18	0.17	0.16	0.17
Copper (Cu)	mg/L	0.61	0.66	0.59	0.62
Chrome (Cr)	mg/L	0.58	0.51	0.55	0.546667
Lead (Pb)	mg/L	0.17	0.14	0.18	0.163333
Alumunium (Al)	mg/L	36.96	40.00	37.39	38.11667

Tabel LB.31 Hasil Analisis T0 pH 2 300 mA

Parameter	Unit	T0 pH 2 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.14	3.6	4.7	4.146667
Copper (Cu)	mg/L	0.5	0.45	0.47	0.473333
Chrome (Cr)	mg/L	0.95	0.96	0.95	0.95333

Lead (Pb)	mg/L	0.45	0.45	0.40	0.43333
Aluminium (Al)	mg/L	217.30	219.10	218.40	218.2667

Tabel LB.32 Hasil Analisis T10 pH 2 300 mA

Parameter	Unit	T10 pH 2 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	9.44	9.11	8.99	9.18
Copper (Cu)	mg/L	0.24	0.1	0.10	0.14666667
Chrome (Cr)	mg/L	0.49	0.51	0.51	0.50333333
Lead (Pb)	mg/L	0.40	0.35	0.40	0.38333333
Aluminium (Al)	mg/L	26.80	26.40	24.60	25.9333333

Tabel LB.33 Hasil Analisis Silver pH 2 300 mA

Parameter	Unit	Silver pH 2 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.25	0.24	0.25	0.24666667
Copper (Cu)	mg/L	0.09	0.09	0.08	0.08666667
Chrome (Cr)	mg/L	0.49	0.51	0.55	0.51666667
Lead (Pb)	mg/L	0.30	0.40	0.40	0.36666667
Aluminium (Al)	mg/L	2.15	2.35	2.16	2.22

Tabel LB.34 Hasil Analisis T0 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T0 pH 3 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	26.74	26.32	29.32	27.46
Copper (Cu)	mg/L	1.72	1.92	2.16	1.93333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.25	0.26	0.21	0.24

Lead (Pb)	mg/L	0.18	0.14	0.12	0.14666667
Alumunium (Al)	mg/L	623.20	689.20	692.60	668.333333

Tabel LB.35 Hasil Analisis T10 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T10 pH 3 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	49.98	51.13	51.45	50.8533333
Copper (Cu)	mg/L	1.19	1.06	1.20	1.15
Chrome (Cr)	mg/L	1.12	1.10	1.08	1.1
Lead (Pb)	mg/L	1.11	0.60	0.80	0.83666667
Alumunium (Al)	mg/L	644.50	652.60	637.30	644.8

Tabel LB.36 Hasil Analisis Silver pH 3 300 mA

Parameter	Unit	Silver pH 3 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.53	0.51	0.54	0.526666667
Copper (Cu)	mg/L	0.64	0.66	0.48	0.593333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.50	0.38	0.28	0.386666667
Lead (Pb)	mg/L	0.50	0.6	0.6	0.566666667
Alumunium (Al)	mg/L	50.30	72.40	69.10	63.93333333

Tabel LB.37 Hasil Analisis T0 pH 4 300 mA

Parameter	Unit	T0 pH 4 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	26.52	27.36	27.46	27.1133333
Copper (Cu)	mg/L	1.96	1.74	1.80	1.83333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.62	0.64	0.58	0.61333333

Parameter	Unit	T0 pH 4 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Lead (Pb)	mg/L	0.12	0.11	0.90	0.37666667
Alumunium (Al)	mg/L	198.40	197.80	187.00	194.40

Tabel LB.38 Hasil Analisis T10 pH 4 300 mA

Parameter	Unit	T10 pH 4 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	20.48	20.14	19.88	20.1666667
Copper (Cu)	mg/L	0.45	0.44	0.41	0.43333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.65	0.66	0.66	0.65666667
Lead (Pb)	mg/L	0.30	0.35	0.35	0.33333333
Alumunium (Al)	mg/L	349.20	355.20	354.20	352.866667

Tabel LB.39 Hasil Analisis Silver pH 4 300 mA

Parameter	Unit	Silver pH 4 300 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.15	0.18	0.17	0.16666667
Copper (Cu)	mg/L	0.57	0.65	0.56	0.59333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.60	0.52	0.53	0.55
Lead (Pb)	mg/L	0.34	0.33	0.33	0.33333333
Alumunium (Al)	mg/L	51.3	52.17	53.48	52.316667

Tabel LB.40 Hasil Analisis T0 pH 2 200 mA

Parameter	Unit	T0 pH 2 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.12	4.10	4.14	4.12

Parameter	Unit	T0 pH 2 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Copper (Cu)	mg/L	0.23	0.2	0.25	0.22666667
Chrome (Cr)	mg/L	0.88	0.86	0.86	0.86666667
Lead (Pb)	mg/L	0.37	0.35	0.37	0.36333333
Alumunium (Al)	mg/L	60.34	65.89	70.34	65.52333333

Tabel LB.41 Hasil Analisis T10 pH 2 200 mA

Parameter	Unit	T10 pH 2 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	6.12	6.14	6.14	6.13333333
Copper (Cu)	mg/L	0.13	0.17	0.20	0.16666667
Chrome (Cr)	mg/L	0.55	0.60	0.58	0.57666667
Lead (Pb)	mg/L	0.38	0.38	0.38	0.38
Alumunium (Al)	mg/L	98.76	98.88	98.88	98.84

Tabel LB.42 Hasil Analisis Silver pH 2 200 mA

Parameter	Unit	Silver pH 2 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.14	0.14	0.14	0.14
Copper (Cu)	mg/L	3.18	3.16	3.14	3.16
Chrome (Cr)	mg/L	0.37	0.37	0.46	0.4
Lead (Pb)	mg/L	0.38	0.38	0.35	0.37
Alumunium (Al)	mg/L	9.56	9.80	9.80	9.72

Tabel LB.43 Hasil Analisis T0 pH 3 200 mA

Parameter	Unit	T0 pH 3 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	88.48	88.5	88.5	88.4933333
Copper (Cu)	mg/L	0.76	0.78	0.78	0.773333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.80	0.82	0.84	0.82
Lead (Pb)	mg/L	0.96	0.94	0.95	0.95
Alumunium (Al)	mg/L	779.30	779.42	779.42	779.38

Tabel LB.44 Hasil Analisis T10 pH 3 200 mA

Parameter	Unit	T10 pH 3 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	41.29	44.36	45.3	43.65
Copper (Cu)	mg/L	2.14	2.14	2.18	2.153333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.93	0.96	0.95	0.946666667
Lead (Pb)	mg/L	0.92	0.92	0.92	0.92
Alumunium (Al)	mg/L	600.22	600.24	600.22	600.226667

Tabel LB.45 Hasil Analisis Silver pH 3 200 mA

Parameter	Unit	Silver pH 3 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.42	0.4	0.4	0.406666667
Copper (Cu)	mg/L	0.63	0.63	0.63	0.63
Chrome (Cr)	mg/L	0.60	0.62	0.62	0.613333333
Lead (Pb)	mg/L	0.60	0.60	0.6	0.6
Alumunium (Al)	mg/L	42.21	42.22	42.22	42.2166667

Tabel LB.46 Hasil Analisis T0 pH 4 200 mA

Parameter	Unit	T0 pH 4 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	3.88	3.87	3.88	3.87666667
Copper (Cu)	mg/L	1.21	1.21	1.22	1.21333333
Chrome (Cr)	mg/L	0.95	0.95	0.98	0.96
Lead (Pb)	mg/L	0.88	0.89	0.89	0.88666667
Alumunium (Al)	mg/L	267.41	267.45	267.45	267.436667

Tabel LB.47 Hasil Analisis T10 pH 4 200 mA

Parameter	Unit	T10 pH 4 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	28.77	28.86	28.88	28.8366667
Copper (Cu)	mg/L	0.88	0.88	0.88	0.88
Chrome (Cr)	mg/L	0.76	0.76	0.76	0.76
Lead (Pb)	mg/L	0.40	0.45	0.45	0.43333333
Alumunium (Al)	mg/L	333.20	331.23	333.25	332.56

Tabel LB.48 Hasil Analisis Silver pH 4 200 mA

Parameter	Unit	Silver pH 4 200 mA			Rata-rata
		Simplo	Duplo	Triplo	
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	0.2	0.2	0.22	0.20666667
Copper (Cu)	mg/L	0.81	0.86	0.79	0.82
Chrome (Cr)	mg/L	0.68	0.61	0.65	0.64666667
Lead (Pb)	mg/L	0.21	0.16	0.2	0.19
Alumunium (Al)	mg/L	46.96	47.00	39.21	44.39

Tabel LB.49 Hasil Analisis T0 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T0		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.48	4.30	4.40
Copper (Cu)	mg/L	0.08	0.07	0.07
Chrome (Cr)	mg/L	0.17	0.18	0.18
Lead (Pb)	mg/L	0.20	0.20	0.20
Alumunium (Al)	mg/L	295.10	297.22	296.87

Tabel LB.50 Hasil Analisis T1 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T1		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.78	4.54	4.99
Copper (Cu)	mg/L	0.10	0.10	0.10
Chrome (Cr)	mg/L	0.16	0.16	0.15
Lead (Pb)	mg/L	0.25	0.30	0.30
Alumunium (Al)	mg/L	294.50	301.10	303.11

Tabel LB.51 Hasil Analisis T2 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T2		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	4.69	4.94	4.69
Copper (Cu)	mg/L	0.12	0.12	0.10
Chrome (Cr)	mg/L	0.15	0.14	0.15

Lead	(Pb)	mg/L	0.15	0.20	0.25
Alumunium	(Al)	mg/L	259.50	260.11	261.01

Tabel LB.52 Hasil Analisis T3 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T3		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.44	5.54	5.08
Copper (Cu)	mg/L	0.05	0.04	0.04
Chrome (Cr)	mg/L	0.11	0.13	0.11
Lead (Pb)	mg/L	0.20	0.20	0.25
Alumunium (Al)	mg/L	285.33	284.98	284.38

Tabel LB.53 Hasil Analisis T4 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T4		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.90	5.81	5.86
Copper (Cu)	mg/L	0.04	0.04	0.04
Chrome (Cr)	mg/L	0.11	0.11	0.11
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.05
Alumunium (Al)	mg/L	306.10	305.98	305.55

Tabel LB.54 Hasil Analisis T5 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T5		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.92	5.57	5.71
Copper (Cu)	mg/L	0.05	0.04	0.05
Chrome (Cr)	mg/L	0.13	0.12	0.12
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.05
Alumunium (Al)	mg/L	333.50	336.41	334.35

Tabel LB.55 Hasil Analisis T6 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T6		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	6.24	5.89	6.15
Copper (Cu)	mg/L	0.07	0.07	0.07
Chrome (Cr)	mg/L	0.13	0.12	0.12
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.05
Alumunium (Al)	mg/L	311.50	312.31	313.11

Tabel LB.56 Hasil Analisis T7 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T7		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.29	5.36	5.68
Copper (Cu)	mg/L	0.08	0.08	0.07
Chrome (Cr)	mg/L	0.11	0.14	0.13

Lead	(Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.05
Alumunium	(Al)	mg/L	286.50	285.31	285.88

Tabel LB.57 Hasil Analisis T8 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T8		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	3.60	3.60	3.58
Copper (Cu)	mg/L	0.08	0.08	0.05
Chrome (Cr)	mg/L	0.18	0.17	0.17
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.10	0.10
Alumunium (Al)	mg/L	224.50	225.31	225.88

Tabel LB.58 Hasil Analisis T9 pH 3 300 mA





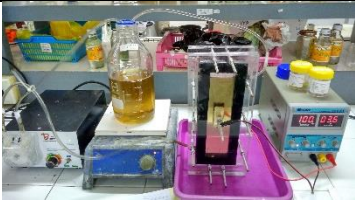

Parameter	Unit	T9		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	5.66	6.13	5.74
Copper (Cu)	mg/L	0.05	0.05	0.04
Chrome (Cr)	mg/L	0.10	0.10	0.10
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.05
Alumunium (Al)	mg/L	288.50	299.50	280.50







Tabel LB.59 Hasil Analisis T10 pH 3 300 mA

Parameter	Unit	T10		
		Simplo	Duplo	Triplo
Dissolved Iron (Fe)	mg/L	6.15	5.89	5.99
Copper (Cu)	mg/L	0.04	0.05	0.05
Chrome (Cr)	mg/L	0.13	0.12	0.11
Lead (Pb)	mg/L	0.05	0.10	0.10
Alumunium (Al)	mg/L	293.33	292.48	292.88

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN

	
<p>Analisis COD</p>	<p>Pengeringan lumpur alum</p>
	
<p>Sentrifugasi</p>	<p>Uji polarisasi</p>
	
<p>Pengoperasian reaktor elektrolisis</p>	<p>Filtrat hasil asidifikasi</p>

	
<p>Elektroda karbon (kiri) dan silver (kanan) setelah proses elektrolisis</p>	<p>Pengukuran berat awal elektroda karbon</p>
	
<p>Pengukuran berat akhir elektroda silver</p>	<p>Warna feed tank setelah proses elektrolisis</p>
	
<p>Clearator lumpur alum</p>	<p>Drain clearator lumpur alum</p>

BIOGRAFI PENULIS



Tyta Try Hardina dilahirkan di Bukittinggi, Sumatera Barat pada tanggal 02 Mei 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 09 Belakang Balok Bukittinggi pada tahun 2002-2008, SMPN 1 Bukittinggi pada tahun 2008-2011, dan SMAN 1 Bukittinggi pada tahun 2011-2014. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2015-2016 dan 2016-2017 sebagai staff internal Departemen Dalam Negeri dan sebagai Sekretaris Departemen Dalam Negeri. Penulis juga sempat aktif di kegiatan Seni dan Olahraga yaitu pada bidang Tari Saman. Penulis juga pernah menjadi asisten Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan pada tahun 2018. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan yang diselenggarakan di Jurusan, Institut, Regional, dan Nasional. Pada Tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Petrokima Gresik dibidang pengolahan limbah cair. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka bisa menghubungi penulis melalui email tytatry2596@gmail.com.